تأثیر درون پوشانی اسانس مرزه بختیاری با کیتوزان بر ماندگاری و ویژگی‌های کیفی دانه انار

عارفه مزروعی[۱]، کرامت اله سعیدی[۲*]، زهرا ایزدی[۳] و عبدالرحمان محمدخانی[۴]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۱۱)

چکیده

کپسوله شدن اسانس‌های روغنی در نانوذرات پلیمری نظیر کیتوزان، اثرات مثبت چنین ترکیباتی را بهبود بخشیده و به‌دلیل کپسوله کردن بهتر و رهاسازی کنترل شده در انتقال عصاره دارویی بسیار مورد توجه است. پژوهش حاضر با هدف درون پوشانی اسانس مرزه بختیاری با کیتوزان بر ماندگاری و کیفیت دانه انار در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ تیمار نسبت‌های کیتوزان و سطوح پاشش اسانس مرزه بختیار (۰/۳- ۱:۱، ۰/۶- ۱:۱، ۰/۳- ۱:۲، ۰/۶- ۱:۲، ۰/۳- ۱:۳ و ۰/۶- ۱:۳) در ۳ تکرار انجام شد. نتایج نشان داد، بیشترین میزان pH عصاره میوه در تیمار شاهد قبل از دوره نگهداری بود. در تیمار شاهد بعد از دوره نگهداری بیشترین میزان مواد جامد محلول و کمترین میزان اسید آلی حاصل شد. بیشترین میزان اسید آلی در عصاره انار در تیمارهای ۰/۶-۱ و شاهد قبل از دوره نگهداری مشاهده شد. در طول دوره نگهداری میزان آنتوسیانین کاهش معنی‌داری را نشان داد. نسبت‌های ۰/۳-۳ و ۰/۶-۳ کیتوزان به اسانس بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و بیشترین کاهش وزن را نشان دادند. در طول دوره نگهداری تحت تیمار شاهد و نسبت ۰/۶-۲ کیتوزان به اسانس میزان فنول عصاره افزایش یافت. به‌طور کلی، با پوشش‌دهی دانه‌های انار و انتخاب غلظت مناسب اسانس مرزه بختیاری همراه با پوشش کیتوزان، می‌توان زمان ماندگاری، بازارپسندی و کیفیت تغذیه‌ای دانه انار را به میزان مناسب و قابل توجهی حفظ کرد.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات، مواد جامد محلول، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم باغبانی، فیزیولوژی و اصلاح گیاهان دارویی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۲ و ۴. دانشیار، گروه علوم باغبانی دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: saeidi@sku.ac.ir

مقدمه

میوه‌ها به‌عنوان سیستم بیولوژیکی زنده، پس از برداشت از بین می‌روند. میزان زوال و پیری به میزان زیادی در میان محصولات متفاوت بوده و بستگی به شدت متابولیسم آنها دارد. با توجه به سریع بودن شدت متابولیسم در اکثر میوه‌ها، زنجیره پیشرفته بازاررسانی که تقاضا را برای فرآورده افزایش می‌دهد، نیاز به فناوری‌های پس از برداشت را ایجاد کرده تا کیفیت فرآورده برای مدت طولانی حفظ شود (۳). کاهش سطح اکسیژن و افزایش دی‌اکسیدکربن نقش مهمی در کنترل واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی، پوسیدگی میوه و سبزی‌ها و جلوگیری از گسترش فساد ناشی از میکروارگانیسم‌های هوازی دارد. امروزه عرضه میوه‌ها به صورت آماده مصرف از ارزش اقتصادی بالایی برخوردار است، ولی میوه برش خورده معمولاً در مرحله پس از برداشت و زمان نگهداری دچار قهوه‌ای شدن آنزیمی شده و با حمله عوامل بیماری‌زا مواجه می‌شود (۱۶). انار با نام علمی *Punica granatum* L. یکی از محصولات باغی پر ارزش و صادراتی کشور محسوب می‌شود. انار ایران به‌دلیل کیفیت مرغوب از نظر صادرات به خارج از کشور در بین محصولات کشاورزی، محصولی بی‌رقیب بوده و از نظر اقتصادی دارای اهمیت فراوان است (۴).

از آنجایی که محصولات باغبانی برداشت شده قابلیت فسادپذیری بالایی دارند، بکارگیری فنون و روش‌های مناسب جهت افزایش قابلیت ماندگاری به‌منظور استفاده در تمام فصول سال و صادرات ضروری است (۳۷). ذرات نانو امولسیون به‌طور ترمودینامیکی به سمت ارگانیسم‌هایی که در ساختار غشای خود دارای جزء لیپیدی هستند، رانده می‌شوند که این اتصال به وسیله جاذبه الکترواستاتیک بین بار کاتیونی امولسیون و بار آنیونی میکروارگانیسم افزایش می‌یابد. وقتی نانو امولسیون به اندازه کافی به پاتوژن ملحق شد، انرژی که در آن ذخیره شده است، آزاد می‌شود و به این ترتیب غشای لیپیدی پاتوژن ناپایدار و موجب هضم سلول شده و مرگ آن را باعث می‌شود که یکی از سازوکارهای اصلی نانو امولسیون‌ها در از بین بردن میکروارگانیسم‌هاست. علاوه بر آن، کاهش اندازه ذرات در حد نانو می‌تواند دسترسی زیستی، ویژگی‌های تحویل و حلالیت مواد مغذی را بهبود ببخشد که به‌دلیل افزایش سطح به ازای واحد حجم و در نتیجه افزایش فعالیت بیولوژیکی آنها است (۳۲). انکپسولاسیون به روش‌های مختلفی از جمله خشک کردن پاششی، پوشش‌دهی بستر سیال، اکستروژن، خشک کردن انجمادی، محصورسازی لیپوزومی و روش تبلور و غیره انجام می‌شود. خشک‌کن انجمادی فرایند آبگیری است که با انجماد مواد و سپس کاهش فشار محیط سبب می‌شود تا آب منجمد شده در ماده مستقیماً از فاز جامد به فاز گازی تصعید شود (۳۱). همچنین کاربرد اسانس‌های گیاهی با توجه به نقش آنتی‌اکسیدانی آنها، از قهوه‌ای شدن آنزیمی جلوگیری می‌کنند. علاوه بر این خواص ضد میکروبی برخی اسانس‌ها نیز به اثبات رسیده است. بنابراین استفاده از این مواد تأثیر زیادی در افزایش طول عمر نگهداری مواد غذایی دارد (۳۰). اسانس مرزه به‌دلیل داشتن ترکیبات فنولی، دارای ویژگی‌های ضدمیکروبی و ضداکسایشی بالایی است. آنالیز ترکیبات سازنده اسانس نشان داده است که کارواکرول به‌عنوان جزء اصلی اسانس محسوب می‌شود که ۹۲/۸ درصد کل ترکیبات فنولی اسانس مرزه را تشکیل می‌دهد. شواهد زیادی مبنی بر خواص ضدویروسی، ضدباکتریایی و ضدقارچی اجزای سازنده اسانس مرزه گزارش شده است (۲۲).

امروزه از پوشش‌های خوراکی جهت جلوگیری از تغییرات نامطلوب کیفی از جمله پوسیدگی، قهوه‌ای شدن آنزیمی، نرم شدن بافت، کاهش رطوبت و غیره در محصولات مختلف استفاده می‌شود. فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی از پلیمرهای طبیعی و بدون استفاده از مواد شیمیایی تهیه شده و باعث ارتقاء کیفی و افزایش زمان ماندگاری مواد غذایی می‌شوند (۲). کیتوزان از مهم‌ترین این پوشش‌ها است که به‌عنوان یک شلاته کننده عمل می‌کند. کیتوزان به علت وزن مولکولی پایین قادر است به‌تنهایی وارد هسته سلولی شده، با DNA واکنش داده، سنتز RNA را تحت تأثیر قرار دهد، تولید پروتئین را تغییر داده و بر کارایی بسیاری از آنزیم‌ها اثر بازدارندگی داشته باشد (۱۹).

ویژگی آب‌دوستی کیتوزان، خصوصیت مهمی برای تشکیل نانوذرات خود تجمع است. حفره‌های آب‌گریز می‌توانند به‌عنوان انبار یا میکرو محفظه برای مواد زیست فعال گوناگون عمل کنند (۳۵). کپسوله شدن اسانس‌های روغنی در نانوذرات پلیمری می‌تواند اثرات مثبت چنین ترکیباتی را بهبود دهد و کیتوزان به‌عنوان نانوپلیمر زیست تخریب پذیر به‌دلیل کپسوله کردن بهتر، رهاسازی کنترل شده و سمیت پایین در انتقال عصاره دارویی بسیار مورد توجه است. با توجه به فراریت اسانس و ناپایداری آن در برابر عوامل محیطی کپسوله کردن آن می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای نیمه عمر اسانس را افزایش دهد (۲۶). به‌دلیل اینکه ایران با تولید محصول انار، مانند بیشتر میوه‌ها، جهت عرضه خارج از فصل در بازارهای داخلی و صادرات فعالیت می‌کند، در نتیجه نگهداری مناسب آن اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین بروز هر نوع مشکلی در کیفیت انار می‌تواند به کاهش میزان درآمد باغداران و صادرکنندگان انار منجر شود و بخش مهمی از صادرات این محصول از دست برود. برای کاهش ضایعات انار کاربرد موادی که بتواند به نگهداری و حفظ کیفیت آن کمک کند، حائز اهمیت است. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر اسانس مرزه بختیاری کپسوله شده در پوشش پلی‌ساکاریدی کیتوزان بر خصوصیات کیفی و ماندگاری پس از برداشت انار است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه و پوشش‌دهی دانه‌های انار

به‌منظور بررسی درون‌پاشی اسانس مرزه بختیاری با کیتوزان بر ماندگاری و کیفیت دانه انار، آزمایشی در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. بدین منظور انار دانه سیاه نیریزی تهیه شد. میوه‌های سالم و بدون ترک خوردگی انار به آزمایشگاه جهت اعمال تیمارها انتقال داده شدند. ابتدا میوه‌ها با آب مقطر شسته، خشک شدند و سپس به کمک چاقوی تیز از ناحیه مرکزی به دونیم بریده و دانه‌های انار به صورت دستی و در شرایط بهداشتی ایزوله، از پوست جدا شدند. برای اطمینان از یکنواختی نمونه‌ها، دانه‌ها با یکدیگر مخلوط شد. تیمارها به روش پاششی (سطوح پاشش ۰/۳ و ۰/۶) تهیه و در مقادیر ۵۰ گرمی در ظروف درب‌دار از جنس پلی‌اتیلن در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ماه نگهداری شدند.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی عصاره انار

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی عصاره انار شامل pH، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول، آنتوسیانین، درصد مواد جامد محلول و اسید آلی در دوره قبل و پس از نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفتند. مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش شامل متانول، فولین، کربنات سدیم، کلرید پتاسیم، استات سدیم، DPPH، NaOH، فنول‌فتالین، کیتوزان و گالیک اسید از برند سیگما و مرک بودند.

آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری آنتوسیانین عصاره میوه به مدت ۳ دقیقه با ۴۵۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد و از فاز رویی عصاره حاصل، استفاده شد. میزان جذب نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل JENWAY-6320-D، ساخت انگلستان) در طول موج‌های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۴).

pH

میزان pH عصاره میوه با استفاده از دستگاه PH meter دیجیتال اندازه‌گیری شد (۲۹).

فنول کل

مقدار فنول با استفاده از معرف فولین- سیوکالتو و بر اساس منحنی استاندارد حاصل از اسید گالیک محاسبه شد. میزان جذب نمونه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل JENWAY-6320-D، ساخت انگلستان) در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شده و ترکیبات فنول کل به صورت میلی‌گرم معادل

اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تازه گزارش شد (۳۴).

اسیدیته

میزان اسیدیته به روش تیتراسیون با استفاده از دستگاه pH meter (مدل MTT65، ساخت ژاپن) و بر طبق رابطه (۱) اندازه‌گیری شد. در این رابطه Meqwt (میلی‌اکی‌والان اسید غالب، اسید سیتریک)،V (میزان سود مصرفی بر حسب میلی‌لیتر)، N (نرمالیته سود مصرفی، ۰/۱ نرمال) و Y (میلی‌لیتر حجم عصاره نمونه) در نظر گرفته شد (۴).

$$TA(\%) = V\ NMeqwt / y \times 100 \qquad (۱)$$

مواد جامد محلول

مقدار مواد جامد محلول توسط رفرکتومتر دستی (مدل ATAGO PAL-3، ساخت ژاپن) و بر حسب درصد برای هر تیمار محاسبه شد.

درصد کاهش وزن

میزان کاهش وزن نمونه‌های هر تکرار با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل Gf-300، ساخت ژاپن) با دقت ۰/۰۰۱ گرم در ابتدای آزمایش و پس از انتقال به آزمایشگاه در پایان مدت زمان نگهداری از طریق رابطه (۲)، محاسبه شد. در این رابطه W_1 (وزن اندازه‌گیری شده قبل از نگهداری) و W_2 (وزن اندازه‌گیری شده بعد از مدت زمان نگهداری) در نظر گرفته شد.

$$\text{درصد کاهش وزن} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100 \qquad (۲)$$

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر طبق روش DPPH توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل JENWAY-6320-D، ساخت انگلستان) در طول موج ۵۱۷ نانومتر ارزیابی شد (۲۰). ارزیابی درصد مهار رادیکال آزاد DPPH بر طبق رابطه (۳) انجام شد. در این رابطه A_0 (میزان جذب کنترل، اتانول و DPPH)، A_1 (میزان جذب نمونه) و A_2 (متانول و DPPH) در نظر گرفته شد.

$$\text{درصد مهار رادیکال آزاد} = \left[1 - \left(A_1 - A_2\right)/A_0\right] \times 100 \qquad (۳)$$

استخراج اسانس و شناسایی ترکیبات مؤثره در گیاه مرزه بختیاری

اسانس اندام‌های هوایی گیاه مرزه بختیاری در مرحله گلدهی کامل تهیه شد. پس از اسانس‌گیری مقداری سولفات سدیم خشک به آن اضافه و در ظرف درب بسته تیره رنگ، دور از نور و در یخچال تا زمان آنالیز و استفاده نگهداری شد. جداسازی و شناسایی ترکیبات اسانس با استفاده از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی (GC) و گاز کروماتوگرافی متصل به طیف سنج جرمی (GC/MS) انجام گرفت. ترکیبات تشکیل دهنده اسانس با استفاده از زمان بازداری ترکیبات، اندیس بازداری طیف جرمی و مقایسه این پارامترها با ترکیب‌های استاندارد یا اطلاعات موجود در کتابخانه شناسایی شد (۱).

آماده‌سازی نانوذرات امولسیونی کامپوزیت روغن‌های فرار

ابتدا نانوامولسیون روغن در آب (O/W) تهیه شد. به این ترتیب که ابتدا محلول کیتوزان تهیه و با اضافه کردن توئین ۸۰ به کامپوزیت روغن فرار، فاز روغنی به‌دست آمد تا جایی که غلظت توئین به یک درصد رسید. محلول کیتوزان به آرامی و قطره قطره، به محلول که توسط همزن در حال همگن شدن بود اضافه شد و پس از ایجاد یک مخلوط همگن، روغن فرار بر اساس یک نسبت (جرمی/جرمی) ۱:۱ و ۱:۲ و ۱:۳ اضافه شد و سپس در دستگاه سونیکت قرار داده شد و در نهایت خشک شد. جهت تولید نانوکپسول، ابتدا نانوامولسیون روغن فرار آماده شد، سپس نانوامولسیون تهیه شده با استفاده از خشک‌کن انجمادی به صورت پودر درآمد (۳۸).

آنالیز آماری

داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS تجزیه واریانس شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر عوامل

آزمایشی، از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد. همچنین برای ارزیابی حسی بر پایه تیمارهای مورد مطالعه، از آزمون ناپارامتری کروسکال- والیس (Kruskal-Wallis) و به دنبال آن برای مقایسه میانگین داده‌های حسی از آزمون ناپارامتری من ویتنی (Mann- Whitney U) استفاده شد.

نتایج و بحث

ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس مرزه بختیاری

نتایج آنالیز ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس مرزه بختیاری، ۲۷ ترکیب را در اسانس روغنی این گیاه نشان داد، به‌طوری که تیمول (۲۵/۷۶ درصد)، بتا سیمن (۲۴/۴۴ درصد)، کارواکرول (۲۳/۰۳ درصد) و گاما ترپینن (۹/۴۹ درصد) بیشترین میزان ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس روغنی گیاه را نشان دادند (جدول ۱).

PH

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار بر میزان pH در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان pH عصاره میوه در تیمار شاهد قبل از دوره نگهداری با میزان ۴/۵۷ مشاهده شد، در نسبت‌های ۰/۳-۱ و ۰/۳-۳ کیتوزان به اسانس کمترین میزان pH به‌ترتیب با مقادیر ۲/۹۶ و ۲/۸۷ حاصل شد (جدول ۳).

مواد جامد محلول

بر طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر تیمار بر میزان مواد جامد محلول در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در تیمار شاهد بعد از دوره نگهداری بیشترین میزان مواد جامد محلول با ۱۸/۱۷ درصد مشاهده شد. کمترین میزان نیز در تیمار شاهد قبل از دوره نگهداری با میزان ۱۳/۵۷ درصد نشان داده شد (جدول ۳).

اسید آلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر تیمار بر میزان اسید آلی میوه در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۲). بر طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین میزان اسید آلی در عصاره انار در تیمارهای ۰/۶-۱ و شاهد قبل از دوره نگهداری به‌ترتیب با میزان ۲/۰۹ و ۱/۹۷ درصد حاصل شد. در تیمار شاهد بعد از دوره نگهداری کمترین میزان اسید آلی با ۰/۹۴ درصد حاصل شد. بین برخی از تیمارها نیز در سطح ۵ درصد آزمون LSD تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار بر میزان آنتوسیانین میوه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، در طول دوره نگهداری میزان آنتوسیانین کاهش معنی‌داری را در مقایسه با تیمار شاهد قبل از دوره نگهداری نشان داد، به‌طوری که تیمار شاهد قبل از دوره نگهداری با میزان ۲/۶۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر بیشترین میزان آنتوسیانین را دارا بود. نسبت‌های ۰/۶-۳، ۰/۳-۳، ۰/۶-۲ و ۰/۳-۲ کیتوزان به اسانس به‌ترتیب با میزان ۱/۰۱، ۱/۰۸، ۱/۰۸ و ۱/۰۹ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر، کمترین میزان آنتوسیانین را نشان دادند، بین این تیمارها تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از معنی‌دار شدن اثر تیمار بر میزان کاهش وزن در سطح احتمال ۱ درصد بود (جدول ۲). طبق نتایج، بیشترین کاهش وزن در تیمار ۰/۶-۳ کیتوزان به اسانس با میزان ۳/۷۳ درصد و کمترین میزان در تیمارهای ۰/۳-۱ و ۰/۳-۲ کیتوزان به اسانس به‌ترتیب با میزان ۰/۶۲ و ۰/۹۹ درصد نشان داده شد (جدول ۳).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تیمار بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه انار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول ۱. ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس مرزه بختیاری

ردیف	نام ماده	زمان بازداری (دقیقه)	ترکیب (درصد)	ردیف	نام ماده	زمان بازداری (دقیقه)	ترکیب (درصد)
۱	alpha.-Thujene	۷/۴۵۶	۰/۱۹	۱۵	cis-Sabinenehydrate	۱۰/۰۴۰	۰/۳۴
۲	alpha.-Pinene	۷/۵۹۱	۰/۶۳	۱۶	alpha.-Terpinolene	۱۰/۳۸۷	۰/۱۸
۳	Camphene	۷/۸۷۷	۰/۴۳	۱۷	Linalool	۱۰/۵۴۸	۳/۵۳
۴	2-.beta.-Pinene	۸/۴۱۵	۰/۱۱	۱۸	Borneol	۱۱/۶۶۲	۲/۷۴
۵	beta.-Myrcene	۸/۶۶۴	۰/۵۵	۱۹	4-Terpineol	۱۱/۸۲۹	۰/۷۸
۶	3-Octanol	۸/۷۶۲	۰/۱۲	۲۰	Carvacrol Methyl Ether	۱۲/۷۷۹	۰/۲۷
۷	l-Phellandrene	۸/۹۱۷	۰/۱۱	۲۱	Thymol	۱۳/۴۴۵	۲۵/۷۶
۸	Alpha- Terpinene	۹/۱۴	۱/۳۸	۲۲	Carvacrol	۱۳/۵۹۳	۲۳/۰۳
۹	p-Cymene	۹/۲۸۳	۲۴/۴۴	۲۳	Thymyl acetate	۱۴/۳۳۲	۱/۱۷
۱۰	Limonene	۹/۳۵۵	۰/۳۸	۲۴	Carvacryl Acetate	۱۴/۵۸۷	۰/۵۱
۱۱	1,8-Cineole	۹/۴۲۵	۰/۱۸	۲۵	trans-Caryophyllene	۱۵/۳۲۶	۲/۲۴
۱۲	Cis -Ocimene	۹/۵	۰/۰۷	۲۶	Alpha-humulene	۱۵/۷۶۱	۰/۱۰
۱۳	beta.-trans-Ocimene	۹/۶۸	۰/۰۶	۲۷	Aromadendrene	۱۷/۳۸۳	۱/۲۱
۱۴	gamma.-Terpinene	۹/۸۷۹	۹/۴۹				

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر نسبت‌های کیتوزان به اسانس بر خصوصیات بیوشیمیایی میوه انار

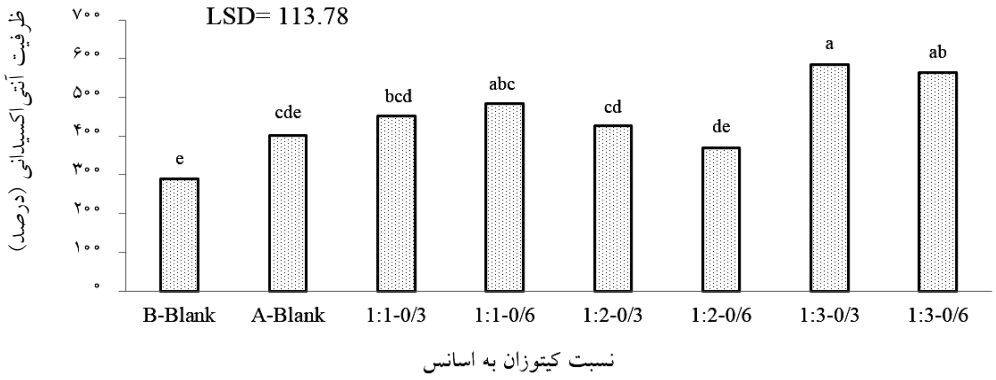
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		pH	مواد جامد محلول	اسید آلی	آنتوسیانین	آنتی اکسیدان	فنول
تیمار	۷	۰/۸۹*	۵/۲۸**	۰/۴۱**	۰/۸۹**	۲۸۷۰۶**	۱۸۲۷/۹*
خطا	۱۶	۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۲	۴۳۲۰	۴۶۹/۸

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار شدن در سطح آماری پنج و یک درصد.

جدول ۳. تأثیر نسبت‌های کیتوزان به اسانس بر خصوصیات بیوشیمیایی میوه انار

تیمارهای مورد بررسی	pH	مواد جامد محلول (درصد)	اسید آلی (درصد)	آنتوسیانین (میلی‌گرم در میلی‌لیتر)	کاهش وزن (درصد)
B-Blank	۴/۵۷ ± ۰/۲۱^{a}	۱۳/۵۷ ± ۰/۶۱^{e}	۱/۹۷ ± ۰/۰۷^{a}	۲/۶۴ ± ۰/۱۱^{a}	–
A-Blank	۳/۴۹ ± ۰/۱۳^{b}	۱۸/۱۷ ± ۰/۴۰^{a}	۰/۹۴ ± ۰/۱۰^{d}	۱/۴۱ ± ۰/۱۸^{bc}	۲/۳۴ ± ۱/۱۶^{bc}
۱:۱ – ۰/۳	۲/۹۶ ± ۰/۱۴^{d}	۱۶/۲۷ ± ۰/۴۰^{bc}	۱/۳۲ ± ۰/۱۰^{c}	۱/۱۶ ± ۰/۱۴^{cd}	۰/۶۲ ± ۰/۴۱^{e}
۱:۱ – ۰/۶	۳/۵۲ ± ۰/۲۸^{b}	۱۶/۰۰ ± ۰/۷۲^{cd}	۲/۰۹ ± ۰/۱۰^{a}	۱/۵۸ ± ۰/۱۱^{b}	۲/۱۴ ± ۰/۷۰^{bcd}
۱:۲ – ۰/۳	۳/۰۲ ± ۰/۰۹^{cd}	۱۵/۱۳ ± ۰/۴۷^{d}	۱/۴۷ ± ۰/۱۳^{bc}	۱/۰۹ ± ۰/۲۰^{d}	۰/۹۹ ± ۰/۹۰^{de}
۱:۲ – ۰/۶	۳/۲۸ ± ۰/۱۲^{bc}	۱۶/۹۰ ± ۰/۲۰^{b}	۱/۳۷ ± ۰/۱۳^{c}	۱/۰۸ ± ۰/۱۰^{d}	۱/۵۳ ± ۰/۱۹^{cde}
۱:۳ – ۰/۳	۲/۸۷ ± ۰/۱۲^{d}	۱۵/۷۷ ± ۰/۵۰^{cd}	۱/۶۶ ± ۰/۰۷^{b}	۱/۰۸ ± ۰/۱۲^{d}	۲/۹۷ ± ۰/۹۶^{ab}
۱:۳ – ۰/۶	۳/۱۳ ± ۰/۱۹^{cd}	۱۶/۱۷ ± ۰/۵۵^{bc}	۱/۴۳ ± ۰/۲۷^{c}	۱/۰۱ ± ۰/۲۰^{d}	۳/۷۳ ± ۰/۲۱^{a}
LSD	۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۲۳	۰/۲۶	۱/۲۹

B-Blank= شاهد قبل از دوره نگهداری، A-Blank= شاهد بعد از دوره نگهداری. میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۱. اثر نسبت‌های کیتوزان به اسانس بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره میوه انار. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

معنی‌دار شد (جدول ۲). بر طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها، با افزایش نسبت کیتوزان به اسانس ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با تیمار شاهد قبل از دوره نگهداری افزایش معنی‌داری را نشان داد. نسبت‌های ۰/۳–۳ و ۰/۶–۳ کیتوزان به اسانس بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را با میزان ۵۸۴ و ۵۶۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر نشان دادند. کمترین میزان نیز در تیمار شاهد قبل از دوره نگهداری با میزان ۲۸۹/۶۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر حاصل شد (شکل ۱).

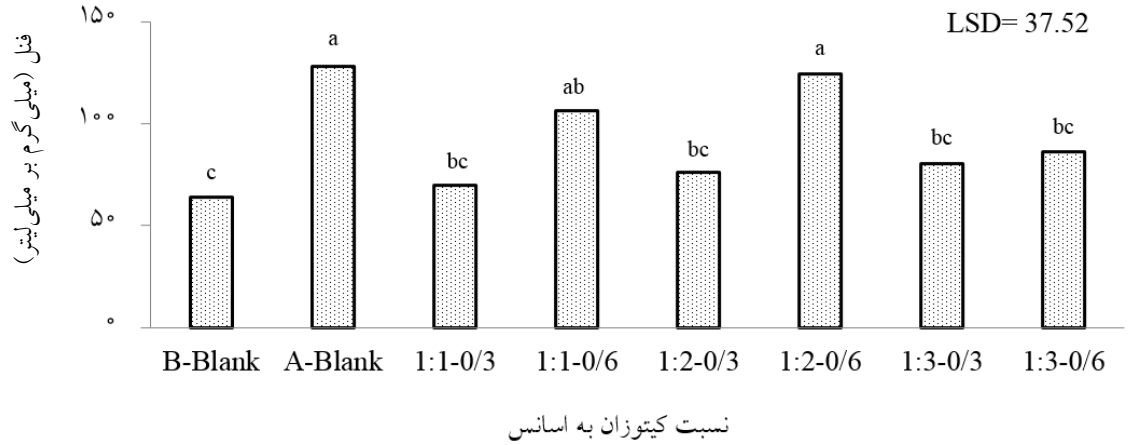
فنول

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمار بر میزان فنول میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، در تیمار شاهد بعد از دوره نگهداری و نسبت ۰/۶–۲ کیتوزان به اسانس، میزان فنول عصاره به‌ترتیب با ۱۲۸ و ۱۲۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در مقایسه با تیمار شاهد قبل از دوره نگهداری با ۶۳/۹۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر بیشترین میزان را نشان دادند (شکل ۲).

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، تحت تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با گروه شاهد، میزان pH کاهش معنی‌داری را نشان داد و با افزایش نسبت کیتوزان به اسانس، کاهش بیشتری مشاهده شد. کاهش در میزان اسیدیته میوه بیانگر رسیدن و زوال آن است. پوشش‌ها تغییرات pH را کند کرده و به‌طور مؤثری رسیدن و زوال آنها را به تعویق می‌اندازند (۵). از مشاهدات جیانگ و همکاران (۱۷) می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که پوشش نیمه نفوذپذیر کیتوزان، اتمسفر درونی را متحول کرده و میزان دی‌اکسید کربن و اکسیژن اطراف میوه را تغییر می‌دهد و در نتیجه رسیدن میوه را به تعویق می‌اندازد. قاسم‌نژاد و همکاران (۱۰) بیان کردند که pH معمولاً در طول دوره انبارمانی افزایش می‌یابد، اما استفاده از کیتوزان در مقایسه با شاهد میزان pH را در میوه زردآلو (*Prunus armeniaca* L.) کاهش داد.

غلظت کیتوزان به‌همراه اسانس بر میزان مواد جامد محلول تأثیر معنی‌داری داشت (۷). تغییرات مواد جامد محلول به عوامل متعددی مانند میزان قند میوه، اسیدیته و پکتین‌های محلول در میوه بستگی دارد. مواد جامد محلول در این پژوهش در گروه شاهد بعد از اعمال تیمارها در مقایسه با گروه شاهد قبل از اعمال تیمارها روندی افزایشی داشت. در طول دوره نگهداری، کیتوزان به‌واسطه ایجاد یک مانع در مقابل عبور گازها باعث کاهش تنفس، تلفات آب میوه، تبادلات گازی و تولید اتیلن شده است و در برخی تیمارها کاهش مواد جامد را در مقایسه با تیمار شاهد بعد از اعمال تمارها به‌همراه دارد (۱۲) . اوز و اولوکانلی (۲۸) افزایش مواد جامد محلول در دانه‌های انار



شکل ۲. اثر نسبت‌های کیتوزان به اسانس بر میزان فنول عصاره میوه انار. میانگین‌ها با حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

و دیگر میوه‌ها را در حین نگهداری گزارش کردند.

در هنگام رسیدن و افزایش فعالیت‌های سوخت و ساز، اسیدهای آلی میوه کاهش پیدا می‌کنند. کاهش میزان اسیدیته در برخی از نسبت‌های تیمار شده در طول دوره نگهداری می‌تواند به‌دلیل اکسید شدن اسید آلی در محیط باشد. ابتدا در اثر اکسیداسیون، اسید آلی به دهیدرو L- آسکوربیک اسید و در صورت ادامه‌ی واکنش به دی‌کتو L- گلوکونیک تبدیل می‌شود که این مسیر غیر قابل برگشت است و در نتیجه افت شدیدی در میزان این ترکیب در زمان نگهداری دانه‌های انار مشاهده می‌شود (۳۶). پوشش خوراکی کیتوزان با نسبت ۰/۶-۱ با تغییر اتمسفر درونی و کاهش سرعت تنفس میوه باعث حفظ بهتر اسیدهای آلی می‌شود (۹). در این پژوهش غلظت ۰/۶ اسانس به‌دلیل ایجاد لایه محافظ اطراف دانه‌ها و کاهش بیشتر میزان تنفس از کاهش اسیدیته جلوگیری کرد. کاهش میزان اسیدهای آلی در دیگر نسبت‌های کیتوزان به‌همراه اسانس احتمالاً به واکنش مواد فعال موجود در اسانس با اسیدیته و شاید خنثی کردن آن مربوط می‌شود. در پژوهش . در پژوهش گالویس سانچز و همکاران (۹) یز تحت تأثیر کاربرد پوشش کیتوزان، محتوای اسید آلی در آریل‌های انار بهتر حفظ شد که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت داشت.

بر طبق نتایج حاصل از این پژوهش، میزان آنتوسیانین در تیمارهای بررسی شده طی دوره نگهداری، کاهش معنی‌داری را نشان داد. گذشت زمان و اکسیداسیون موجب کاهش آنتوسیانین در دانه‌های انار شد. کاهش مقدار آنتوسیانین در طول مدت زمان انبارمانی توسط اگرادی و همکاران (۲۷)، روی انار نیز گزارش شده است. تنش در حین دانه کردن انار یا فرآوری اولیه و به دنبال آن افزایش تنفس، کاهش رطوبت محصول، تغییرات در اسیدیته و مواد جامد محلول علت کاهش آنتوسیانین عنوان شده است (۲۷).

در طی مدت نگهداری کاهش وزن بیشتری در برخی از نسبت‌های کیتوزان به‌همراه سطوح اسانس در مقایسه با گروه شاهد مشاهده شد. تیمارهای ۰/۳-۱ و ۰/۳-۲ کمترین کاهش وزن را نشان دادند، پوشش کیتوزان یک لایه نیمه نفوذپذیر و صاف در سطح میوه تشکیل می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان یک سد حفاظتی برای کاهش میزان تنفس و تعرق از طریق سطوح میوه استفاده شود (۲۵). تأثیر مفید کیتوزان در حفظ آب میوه و تأثیر مثبت بر کاهش وزن در میوه‌های توت فرنگی (۱۳)، گواوا (۱۴) و قارچ (۱۸) گزارش شده است. فینی‌دخت و همکاران (۸) تأثیر کیتوزان ۰/۵ درصد را بهتر از کیتوزان ۱ درصد گزارش کردند و علت آن را صدمه بافت‌های میوه در غلظت بالای

کیتوزان بیان کردند. غلظت زیاد کیتوزان باعث صدمه به بافت میوه شده و افزایش تنفس و اتلاف آب میوه را ناشی می‌شود و به‌همین دلیل غلظت کیتوزان ۳ درصد در این آزمایش نتوانسته است بهترین تأثیر را در بین تیمارها داشته باشد. چاین و همکاران (۵) نیز تأثیر کیتوزان ۱ درصد را مؤثرتر از کیتوزان ۲ درصد بر کاهش وزن میوه انبه گزارش کردند.

با افزایش نسبت کیتوزان- اسانس میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH افزایش یافته است و اختلاف آماری معنی‌داری ایجاد شده است. عصاره گیاه مرزه بختیاری به‌دلیل دارا بودن ترکیبات فنولی قدرت آنتی رادیکالی بالایی نشان داد. مونوترپن‌های فنولیک موجود در عصاره قدرت هیدروژن دهندگی بالایی دارند و توان احیای رادیکال‌های آزاد DPPH را دارا هستند. با افزایش نسبت کیتوزان همراه با عصاره و یا درجه هیدروکسیلاسیون ترکیبات فنولی، فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH افزایش می‌یابد که به‌عنوان فعالیت آنتی‌اکسیدانی تعریف می‌شود (۶). نتایج مطالعه کیندلسید و همکاران (۲۱) نشان داد که عصاره‌ها در اغلب موارد فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به آنتی‌اکسیدان سنتزی BHT دارند. این نتایج با نتایج هانگ و همکاران (۱۵) در رابطه با گیاه شاهدانه مطابقت داشت.

در طول دوره نگهداری در تیمارهای شاهد بعد از دوره نگهداری و نسبت ۰/۶-۲ کیتوزان میزان فنول عصاره میوه افزایش یافت. حضور ترکیبات فنولی در تمام گیاهان روغنی به اثبات رسیده است و وجود این ترکیبات برای افزایش پایداری اسیدهای چرب چند غیر اشباع در این روغن‌ها ضروری است (۳۳). اسانس مرزه بختیاری و تا حدودی پوشش‌دهی با کیتوزان موجب جلوگیری از کاهش مواد فنولی شده است. برخی از ترکیب‌ها با خواص آنتی‌اکسیدانی یا ضداکسایشی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه به‌وسیله گیاهان موجود در طبیعت ساخته می‌شوند که ترکیباتی مانند فنول‌ها، فلاونوئیدها، استروئیدها و ترپنوئیدها از آن جمله هستند. در برخی از تیمارها نیز میزان مواد فنولی ثابت ماند و مواد فنولی نسبت به گروه شاهد قبل از اعمال تیمارها کاهش قابل ملاحظه‌ای نداشت. در تأیید نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، گزارش قاسم‌نژاد و همکاران (۱۱) نشان می‌دهد که پوشش‌دهی دانه انار با کیتوزان با نسبت ۰/۶-۲، موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های فنول‌اکسیداز و افزایش مواد فنولی شده است. محققین دیگر نیز گزارش کردند که مواد فنولی دانه انار تا ۱۲ روز افزایش داشته و بعد کاهش یافته است (۲۳).

نتیجه‌گیری کلی

منابع گیاهی به‌دلیل عوارض جانبی کمتر، توجه بیشتری را جلب می‌کنند. در این رابطه استفاده از گیاهان بومی ایران با خواص ضدمیکروبی و کپسوله کردن آن با نانوذرات کیتوزان می‌تواند روش نوینی در درمان عفونت‌های ناشی از قارچ‌ها باشد. بنابراین با پوشش‌دهی دانه‌های انار توسط کیتوزان و انتخاب غلظت مناسب اسانس مرزه بختیاری، می‌توان زمان ماندگاری، بازارپسندی و کیفیت تغذیه‌ای دانه انار را به میزان مناسب و قابل توجهی حفظ کرد.

منابع مورد استفاده

1. Adams, R. P. 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Allured Publishing Corporation, Carol Stream.
2. Anis, A., K. Pal and S. M. Al-Zahrani. 2021. Essential oil-containing polysaccharide-based edible films and coatings for food security applications. *Polymers* 13(4): 575.
3. Asgary, S., M. Keshvari, A. Sahebkar and N. Sarrafzadegan. 2017. Pomegranate consumption and blood pressure: a review. *Current Pharmaceutical Design* 23: 1042-1050.
4. Azizi, F., J. Erfani Moghadam, O. Khademi and K. Nourollahi. 2017. Effects of oxalic acid and ascorbic acid on shelf life of pomegranate arils. *Journal of Food Science and Technology (JFST)* 71: 15-24.
5. Chien, P. J., F. Sheu and F. H. Yang. 2007. Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced

mango fruit. *Journal of Food Engineering* 78: 225-229.
6. Ferreres, F., C. Sousa, P. Valento, R. M. Seabra, J. A. Pereira and P. B. Andrade. 2007. Tronchuda cabbage (*Brassica oleracea* L. var. costata DC) seeds: phytochemical characterization and antioxidant potential. *Food Chemistry* 101: 549-558.
7. Feyzioglu, G. C. and F. Tornuk. 2016. Development of chitosan nanoparticles loaded with summer savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil for antimicrobial and antioxidant delivery applications. *LWT-Food Science and Technology* 70: 104-110.
8. Finidokht, R., M. Asghari and H. Shirzad. 2011. The effect of chitosan on postharvest life extension and qualitative characteristics of table grape "Shahroodi". *Iranian Journal of Food Science* 26: 378-384. (In Farsi)
9. Galvis-Sanchez, A. C., S. C. Fonseca, A. M. Morais and F. X. Malcata. 2003. Physicochemical and sensory evaluation of 'Rocha' pear following controlled atmosphere storage. *Journal of Food Science* 68: 318-327.
10. Ghasemnezhad, M., M. A. Shiri and M. Sanavi. 2010. Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Environmental Science* 8: 25-33.
11. Ghasemnezhad, M., S. Zareh, M. Rassa and R. H. Sajedi. 2013. Effect of chitosan coating on maintenance of aril quality, microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Tarom) at cold storage temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93: 368-374.
12. Hasheminejad, N. and F. Khodaiyan. 2020. The effect of clove essential oil loaded chitosan nanoparticles on the shelf life and quality of pomegranate arils. *Food Chemistry* 309: 125520.
13. Hernandez-Munoz, P., E. Almenar, V. D. Valle, D. Velez and R. Gavara. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragari a × ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry* 110: 428-435.
14. Hong, K., J. Xie, L. Zhang, D. Sun and D. Gong. 2012. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae* 144: 172-178.
15. Hong, S. H., K. Sowndhararajan, T. Hoo, C. Lim, H. Cho, S. Kim, G. Y. Kim and J. W. Ghoo. 2015. Ethanol and supercritical fluid extracts of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) increase gene expression of antioxidant enzymes in HepG2 cells. *Asian Pacific Journal of Reproduction* 4: 147-152.
16. Hosseini, S. F., M. Zandi, M. Rezaei and F. Farahmandghavi. 2013. Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: preparation, characterization and in vitro release study. *Carbohydrate Polymers* 95: 50-56.
17. Jiang, T. J., L. F. Feng and J. R. Li. 2012. Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan–glucose complex coating under cold storage. *Food Chemistry* 131: 780-786.
18. Jiang, T., L. Feng and X. Zheng. 2012. Effect of Chitosan coating enriched with thyme oil on postharvest quality and shelf life of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Agricutural Food Chemistry* 60: 188–196
19. Karimirad, R., M. Behnamian and S. Dezhsetan. 2019. Application of chitosan nanoparticles containing *Cuminum cyminum* oil as a delivery system for shelf life extension of *Agaricus bisporus*. *LWT - Food Science and Technology* 106: 218-228.
20. Kelebek, H., S. Selli, A. Canbas and T. Cabaroglu. 2009. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kozan. *Microchemical Journal* 91: 187-192.
21. Kindleysides, S., S. Y. Quek and M. R. Miller. 2012. Inhibition of fish oil oxidation and the radical scavenging activity of New Zealand seaweed extracts. *Food Chemistry* 133: 1624-1631.
22. Majd, A., S. Taher Nejad, R. Khavari Nejad and B. Doosti. 2008. Quantitative and qualitative changes of *Satureja khuzestanica* essence compounds during plant growth and in vitro investigation of its antimicrobial properties. *Journal of Basic Sciences* 18: 52. (In Farsi).
23. Martínez-Romero, D., S. Castillo, F. Guillén, H. M. DíazMula, P. J. Zapata, D. Valero and M. Serrano. 2013. Aloe vera gel coating maintains quality and safety of ready-to-eat pomegranate arils. *Postharvest Biology and Technology* 86: 107-112.
24. Muanda, F. N., R. Soulimani, B. Diop and A. Dicko. 2011. Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *LWT – Food Science and Technology* 44: 1865-1872.
25. Natrajan, D., S. Srinivasan, K. Sundar and A. Ravindran. 2015. Formulation of essential oil-loaded chitosan alginate nanocapsules. *Journal of Food and Drug Analysis* 23: 560-568.
26. Negahban, M., S. Moharramipour, M. Zand and S. A. Hashemi. 2013. Repellent activity of nanoencapsulated essential oil of *Artemisia sieberi* Besser. on *Plutella xylostella* L. larvae. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 29: 909-924. (In Farsi)
27. O'Grady, L., G. Sigge, O. J. Caleb and U. L. Opara. 2014. Bioactive compounds and quality attributes of

pomegranate arils (*Punica granatum* L.) processed after long-term storage. *Food Packaging and Shelf Life* 2: 30-37.
28. Oz, A. T. and Z. Ulukanli. 2012. Application of edible starch-based coating including glycerol plus *Oleum nigella* on arils from long-stored whole pomegranate fruits. *Journal of Food Processing and Preservation* 36: 81-95.
29. Pirhayati, A., A. Daraei Garmakhany, M. A. Gholami Mirzakhani and G. Khalilzadeh Ranjbar. 2019. Application of aloe vera gel coating enriched with golpar essential oil on the shelf life of peach fruit (*Prunus persica* var, Zafarani). *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology* 4: 75-88. (In Farsi)
30. Qu, T., B. Li, X. Huang, X. Li, Y. Ding, J. Chen and X. Tang. 2020. Effect of peppermint oil on the storage quality of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food and Bioprocess Technology* 13: 404-418.
31. Razavizadeh, B. B. M., F. Khan Mohammadi and S. N. Azizi. 2014. Comparative study on properties of rice bran oil microcapsules prepared by spray drying and freeze drying. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology* 3: 97-114.
32. Sheqokar, R. and R. H. Müller. 2010. Nanocrystals: industrially feasible multifunctional formulation technology for poorly soluble actives. *International Journal of Pharmaceutics* 339: 129-139.
33. Siger, A., M. Nogala-Kalucka and E. Lampart-Szczapa. 2008. The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils. *Journal of Food Lipids* 15: 137-149.
34. Singleton, V. L., R. Orthofer and R. M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin- ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299: 152-178.
35. Sotelo-Boyás, M. E., Z. N. Correa-Pacheco, S. Bautista-Baños and M. L. Corona-Rangel. 2017. Physicochemical characterization of chitosan nanoparticles and nanocapsules incorporated with lime essential oil and their antibacterial activity against food-borne pathogens. *LWT-Food Science and Technology* 77: 15-20.
36. Vargas, M., A. Albors, A. Chiralt and C. Gonzalez- Martinez. 2006. Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology* 41: 164-171
37. Wang, H., Y. Chen, J. Sun, Y. Li, Y. Lin, M. Lin, Y. Huang, M. A. Ritenour and H. Lin. 2018. The changes in metabolisms of membrane lipids and phenolics induced by *Phomopsis longanae* chi infection in association with pericarp browning and disease occurrence of postharvest longan fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66: 12794-12804.
38. Zanetti, M., T. K. Carniel, F. Dalca Cnton, R. S. Anjos, H. Gracher Riella, P. H. H. Araújo, D. Oliveira and M. Antônio Fiori. 2018. Use of encapsulated natural compounds as antimicrobial additives in food packaging: A brief review. *Trends in Food Science & Technology* 1: 44.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 11, No. 4, Winter 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Encapsulation of *Satureja bachtiarica* Essential Oil with Chitosan on the Shelf Life and Qualitative Traits of Pomegranate Seeds

A. Mazrouei[1], K. Saeidi[2*], Z. Izadi[3] and A. Mohammadkhani[4]

(Received: August 1-2021; Accepted: November 02-2021)

Abstract

The effects of the encapsulation of *Satureja bachtiarica* essential oil with chitosan on the shelf life and quality of pomegranate seeds were studied in an experiment based on a completely randomized design with eight treatments, including different ratios of chitosan to *S. bachtiarica* essential oil (control, 1:1–0.3, 1:1–0.6, 1:2–0.3, 1:2–0.6, 1:3–0.3, 1:3–0.6) and three replications. The results showed that the highest fruit extract pH was observed in the control treatment before the storage period. The post-storage control treatment exhibited the highest total soluble solids (TSS). The highest organic acid was obtained from the extract treated with the chitosan: essential oil ratio of 0.6-1 and from the control plants before the storage period. The post-storage control treatment had the lowest organic acid content. During the storage period, anthocyanin content was decreased significantly relative to the control treatment before the storage period. The chitosan:essential oil ratios of 3-0.3 and 3-0.6 brought about the highest antioxidant capacity. During the storage period, the application of chitosan:essential oil ratio of 2-0.6 increased phenol content compared to the control before the storage period. The highest weight loss was observed in the treatment of chitosan:essential oil ratio of 3-0.6. Overall, coating pomegranate seeds and selecting an appropriate concentration of *S. bachtiarica* for incorporation into the chitosan coating can contribute to preserving the shelf life, marketability, and nutritional quality of pomegranate seeds.

Keywords: Nanoparticles, Total soluble solids, Antioxidant capacity, Total phenolic content

1. M.Sc. Student, Department of Horticulture, Physiology and Plant Breeding, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
2, 4. Associate Professor, Department of Horticultural Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
*: Corresponding Author, Email saeidi@sku.ac.ir