مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۸، شماره ۳، صفحه ۴۲۳-۴۰۹ (۱۴۰۱)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/IJMAPR.2022.358308.3155
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350905.1401.38.3.3.5

تغییرات فیتوشیمیایی و فعالیت ضداکسایشی میوه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) تحت تأثیر نوع بسته‌بندی و مدت زمان انبارمانی

فاطمه باباخانی[۱]، جلال خورشیدی[۲*] و محمدرضا مرشدلو[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، مرکز پژوهشی اصلاح و توسعه گیاهان دارویی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
پست الکترونیک: j.khorshidi@uok.ac.ir

۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۱ تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۱

چکیده

شرایط پس از برداشت تأثیر بسزایی در کمّیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی دارد. بر همین اساس، در این پژوهش تأثیر زمان‌های مختلف انبارمانی (صفر، دو، چهار و شش ماه) و نوع بسته‌بندی (کرافت، پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و بدون بسته‌بندی) بر محتوای اسانس، نوع و میزان ترکیب‌های اسانس، فنول و فعالیت ضداکسایشی عصاره میوه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) ارزیابی شد. اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب به مدت سه ساعت و عصاره‌گیری توسط سوکسله با استفاده از حلال متانول انجام شد. اسانس‌ها توسط GC-FID و GC-MS آنالیز شدند. به‌طورکلی، افزایش زمان انبارمانی موجب کاهش میزان اسانس رازیانه گردید (به‌استثنای بسته‌بندی کرافت) و میزان این کاهش با توجه به نوع بسته‌بندی متفاوت بود. بیشترین (۳/۲۵٪ حجمی/وزنی) و کمترین (۱/۸٪ حجمی/وزنی) میزان اسانس به‌ترتیب از میوه‌های دو ماه انبار شده با بسته‌بندی پلی‌اتیلن و میوه‌های شش ماه انبار شده بدون بسته‌بندی بدست آمد. تعداد، نوع و میزان ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس تحت تأثیر زمان انبارمانی و نوع بسته‌بندی قرار گرفت. بیشترین میزان ای-آنتول (۷۵/۸٪) در اسانس میوه‌های شش ماه انبار شده بدون بسته‌بندی و کمترین میزان آن (۴۹/۴۶٪) در اسانس میوه‌های انبار نشده مشاهده شد. میزان فنول و فعالیت ضداکسایشی با افزایش زمان انبارمانی کاهش یافت، ولی در زمان‌های مختلف انبارمانی، تأثیر نوع بسته‌بندی‌ها متفاوت بود. به‌طورکلی، براساس میزان اسانس، فنول و فعالیت ضداکسایشی، انبارمانی رازیانه توصیه نمی‌گردد، ولی براساس نوع ترکیب هدف موجود در اسانس، می‌توان زمان‌های مختلف انبارمانی را توصیه کرد. در صورت انبار کردن محصول، براساس مجموع صفات اندازه‌گیری شده، بسته‌بندی پلی‌اتیلن و کرافت توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *Foeniculum vulgare* Mill.، انبار، بسته‌بندی، اسانس، فنول.

مقدمه

گیاهان دارویی بعد از برداشت، یا به‌طور مستقیم برای فرآوری به کارخانجات منتقل می‌شوند یا اینکه خشک شده و در انبار نگهداری می‌گردند تا در زمان لازم از آنها استفاده گردد. شرایط انبار ازجمله نوع بسته‌بندی، مدت زمان انبارمانی، دما، رطوبت، ترکیب گازهای انبار و نور به شدت بر روی ماندگاری، کیفیت ظاهری و نیز کمّیت و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی انبار شده تأثیرگذار هستند (Santana *et al*., 2017). در طی انبارداری، شرایط باید طوری تنظیم گردد که فعالیت‌های متابولیکی گیاه به حداقل برسد تا کمترین تغییرات کمّی و کیفی در متابولیت‌های آن اتفاق بیفتد (Lisboa *et al*., 2018). انتخاب نوع بسته‌بندی تأثیر بسزایی در حفظ کیفیت گیاه دارویی و افزایش عمر انباری آن دارد و بسته‌بندی‌های نامناسب موجب تغییر در ترکیب شیمیایی مواد مؤثره گیاه و در نهایت تغییر ویژگی‌های عطری و دارویی و کاهش ارزش اقتصادی و بازارپسندی آن می‌شوند (Potisate *et al*., 2015؛ Rosado *et al*., 2013). به‌طورکلی جنس بسته‌بندی باید به گونه‌ای باشد که نمونه درون آن حداقل تبادلات را با محیط اطراف داشته باشد، ترکیب‌های مؤثره گیاه دارویی توسط بسته جذب نشود و هیچ ترکیبی از بسته به ماده گیاهی منتقل نشود (Soroka, 2009). معمولاً بسته‌بندی‌هایی از جنس شیشه، چوب، پلی‌اتیلن، کاغذ، پلی‌پروپیلن، فویل آلومینیومی، فلز یا ترکیبی از موارد ذکر شده برای نگهداری گیاهان دارویی در انبار استفاده می‌شود که هر یک از آنها دارای مزایا و معایبی هستند (Ebadi, 2015). در ارتباط با تأثیر نوع بسته‌بندی بر تغییرات کمّی و کیفی متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی مطالعات کمی انجام شده که البته نتایج همه آنها مؤید تأثیرپذیری متابولیت‌های ثانویه از نوع بسته‌بندی است (Chaliha *et al*., 2013؛ Li *et al*., 2015؛ Ebadi *et al*., 2016؛ Santana *et al*., 2017؛ Babalar *et al*., 2014؛ Baghdadi *et al*., 2020). طول دوره انبارمانی گیاه دارویی به‌طوری‌که مواد مؤثره آن دچار نقصان کمّیت و کیفیت نشود، با توجه به نوع گیاه و شرایط انبار متفاوت است، ولی به‌طورکلی در مورد اغلب گیاهان دارویی، افزایش زمان انبارمانی موجب کاهش کمّیت و کیفیت ماده مؤثره آنها شده است (Costa *et al*., 2009؛ Laher *et al*., 2013؛ Anh *et al*., 2019؛ Jesus *et al*., 2016؛ Ebadi *et al*., 2016؛ Santana *et al*., 2017؛ Wahba *et al*., 2020؛ Kazaz *et al*., 2009؛ Dehghani Mashkani *et al*., 2018). در طی دوره انبارمانی، فرایندهایی از قبیل اکسیداسیون، هیدرولیز، پلیمریزاسیون، تبخیر و تبدیل مواد مؤثره به یکدیگر، منجر به تغییر کمّی و کیفی متابولیت‌های گیاه انبارشده می‌گردد که در بیشتر موارد نامطلوب هستند (Misharina, 2001). ازاین‌رو، برای جلوگیری از این تغییرات نامطلوب باید مناسب‌ترین شرایط برای انبار گیاه مدنظر فراهم گردد تا بعد از دوره انبارمانی، کیفیت محصول در حد قابل قبولی حفظ شود.

رازیانه با نام علمی *Foeniculum vulgare* Mill.، گیاهی از تیره چتریان (Apiaceae) است که میوه‌های آن در صنایع دارویی و غذایی کاربردهای فراوانی دارد. میوه رازیانه حدود ۳٪ اسانس داشته و مهمترین ترکیب‌های اسانس آن، آنتول، فنکون و پارا-سیمن هستند (Khorshidi *et al*., 2009). از مهمترین خواص دارویی رازیانه می‌توان به خواص ضد باکتری، ضد قارچ، ضد التهاب، ضد لختگی خون، ضد دیابت و محافظت‌کنندگی کبد اشاره کرد (Akhbari *et al*., 2019؛ Golestannejad *et al*., 2017؛ Sharopov *et al*., 2017). بخش عمده رازیانه تولیدی در کشور بعد از برداشت خشک شده، بسته‌بندی و انبار می‌گردد و طبیعتاً آگاهی از مناسب‌ترین شرایط انبار در راستای حفظ کیفیت این محصول ضروریست. بنابراین نظر به اهمیت این موضوع، در این پژوهش تأثیر نوع بسته‌بندی و مدت زمان انبارمانی بر کمّیت و کیفیت اسانس و میزان ترکیب‌های فنولی و فعالیت ضداکسایشی عصاره میوه رازیانه بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی مواد گیاهی

میوه‌های رازیانه مورد استفاده در این پژوهش از مزرعه‌ای در همدان تهیه شد، سپس به آزمایشگاه گیاهان دارویی دانشگاه کردستان منتقل و در شرایط سایه و دمای اتاق خشک گردید. خشک کردن میوه‌ها تا زمانی ادامه یافت که رطوبت آنها به ۱۰٪ بر پایه وزن تر رسید. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار پایه‌ریزی شد. فاکتورهای مورد ارزیابی شامل نوع بسته‌بندی (بدون بسته‌بندی، پاکت کرافت، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن) و مدت زمان انبارمانی (بدون انبارمانی، ۲ ماه، ۴ ماه و ۶ ماه انبارمانی) بودند. به ازای هر تیمار و هر تکرار، مقدار ۱۰۰ گرم میوه خشک شده توزین گردید و در بسته‌بندی‌های مذکور قرار داده شد. یادآوری می‌شود که اندازه و حجم بسته‌بندی‌ها یکسان (شکل ۱) و انبار نگهداری نمونه‌ها از دمای حدود ۱±۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد برخوردار بود.

اسانس‌گیری از نمونه‌ها

پس از مدت زمان‌های مذکور انبارمانی، از هر نمونه ۵۰ گرم وزن شده و اسانس‌گیری از آن با روش تقطیر با آب به کمک دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت انجام شد (Moradi *et al*., 2020). پس از پایان اسانس‌گیری، درصد حجمی وزنی اسانس محاسبه گردید و بعد اسانس بدست آمده در ویال‌های شیشه‌ای مخصوص ریخته شد. برای رطوبت‌زدایی اسانس‌ها، مقدار کمی سولفات سدیم خشک به ویال‌ها اضافه گردید. سپس ویال‌ها فویل‌پیچی شده و تا زمان آنالیز در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

شکل ۱- بسته‌بندی‌های کرافت (A)، پلی‌اتیلن (B) و پلی‌پروپیلن (C) در بررسی اثر نوع بسته‌بندی بر تغییرات فیتوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی رازیانه

Figure 1. Kraft (A), polyethylene (B), and polypropylene (C) packages used in "Phytochemical and antioxidant activity changes of *Foeniculum vulgare* fruit affected by packaging type" research

آنالیز اسانس‌ها

برای تعیین نوع و میزان ترکیب‌های اسانس‌ها از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) و کروماتوگرافی گازی متصل به دتکتور یونیزاسیون شعله‌ای (GC-FID) آزمایشگاه مرکزی دانشگاه مراغه استفاده شد. مشخصات دستگاه‌ها و شرایط کاری آنها به‌شرح زیر بود.

GC-FID

کروماتوگراف گازی مورد استفاده، مدل Agilent 7990B متصل به دتکتور FID (طول ستون ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۵ میکرومتر) بود. دمای آون به‌مدت ۵ دقیقه در

۶۰ درجه سلسیوس نگه داشته شد و بعد با سرعت ۳ درجه در دقیقه به ۲۳۰ درجه سلسیوس افزایش داده شد. از هلیوم به‌عنوان گاز حامل با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده گردید. دمای محفظه تزریق ۲۳۰ درجه سلسیوس تنظیم شد.

GC-MS

از کروماتوگراف گازی مدل Agilent 7990B متصل به طیف‌سنج جرمی مدل 5977A با ستون HP-5 (طول ستون ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۱ میکرومتر) استفاده شد. از هلیوم با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. برنامه دمایی آون مشابه با برنامه دمایی GC بود. دمای محفظه تزریق دستگاه ۲۳۰ درجه سلسیوس، ولتاژ یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و محدوده اسکن طیف‌ها ۴۰ تا ۴۰۰ دالتون بود.

شناسایی ترکیب‌ها از طریق مقایسه طیف‌های جرمی بدست آمده با طیف‌های جرمی موجود در کتابخانه دیجیتال دستگاه انجام شد و میزان کمّی ترکیب‌ها نیز با محاسبه سطح زیر پیک مربوط به هر ترکیب بدست آمد.

عصاره‌گیری

برای استخراج عصاره از نمونه‌ها از روش عصاره‌گیری گرم با استفاده از دستگاه سوکسله و متانول به‌عنوان حلال استفاده شد. بدین‌منظور مقدار ۲۰ گرم میوه خشک رازیانه توسط خردکن خانگی بخوبی خرد شد و پس از قرار دادن آن داخل چند لایه دستمال کاغذی، در داخل محفظه مخصوص دستگاه قرار داده شد. سپس مقدار ۱۵۰ میلی‌لیتر متانول در داخل بالن دستگاه ریخته شد و فرایند عصاره‌گیری به مدت ۴ ساعت انجام گردید. پس از مدت مذکور، عصاره بدست آمده توسط دستگاه تبخیرکننده دوار تغلیظ و بعد در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس کاملاً خشک شد. عصاره خشک بدست آمده را در داخل ظروف شیشه‌ای مخصوص ریخته و در یخچال نگهداری شد (Moradi *et al*., 2020).

اندازه‌گیری فنول عصاره

برای اندازه‌گیری فنول کل، از روش رنگ‌سنجی براساس دستورالعمل فولین سیوکالتیو استفاده شد (Singleton *et al*., 1999). ابتدا مقدار ۱ میلی‌گرم عصاره خشک را در ۱ میلی‌لیتر متانول حل کرده، سپس ۱۰۰ میکرولیتر از آن را برداشته و به آن ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتیو ۱۰٪ و ۲۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵٪ اضافه گردید، در نهایت حجم مخلوط بدست آمده با استفاده از آب مقطر به ۲ میلی‌لیتر رسانده شد. مخلوط حاصل را به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده و بعد جذب آن در طول موج ۷۶۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر قرائت گردید. از اسید گالیک با غلظت‌های مختلف برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد و میزان فنول عصاره بر حسب میلی‌گرم اسید گالیک در گرم عصاره خشک محاسبه گردید.

اندازه‌گیری فعالیت ضداکسایشی عصاره

میزان مهار رادیکال‌های دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) اساس اندازه‌گیری فعالیت ضداکسایشی عصاره‌ها بود (Khorshidi *et al*., 2020). میزان ۱ میلی‌گرم عصاره خشک را در ۱ میلی‌لیتر متانول حل کرده و بعد ۱۰۰ میکرولیتر از آن را برداشته و به آن ۹۰۰ میکرولیتر محلول متانولی ۰/۲ میلی‌مولار DPPH اضافه گردید. مخلوط بدست آمده به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی و دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شد و در نهایت جذب آن در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید. درصد مهار رادیکال‌های آزاد با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$\text{درصد مهار رادیکال‌های DPPH} = \left(\frac{Ac - As}{Ac}\right) \times 100$$

در فرمول بالا، Ac میزان جذب نمونه شاهد (بدون عصاره رازیانه) و As میزان جذب نمونه مورد آزمایش (حاوی عصاره رازیانه) است. در نهایت، میزان فعالیت ضداکسایشی برحسب IC_{50} (غلظتی از عصاره که ۵۰٪ رادیکال‌های DPPH را مهار می‌کند) بدست آمد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵٪ انجام شد و ترسیم بای‌پلات توسط نرم‌افزار Statgraphics19 انجام گردید.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، تأثیر نوع بسته‌بندی و مدت زمان انبارمانی و نیز اثر متقابل آنها بر روی صفات محتوای اسانس، فنول کل و فعالیت ضداکسایشی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نوع بسته‌بندی و مدت زمان انبارمانی بر برخی صفات میوه رازیانه

Table 1. ANOVA of packaging type and storage duration effects on some characteristics of *Foeniculum vulgare* fruit

Source of variation	df	Mean squares		
		Essential oil	Phenol	Antioxidant activity
Packaging type	3	0.297**	912.1**	0.000096**
Storage duration	3	1.29**	33067.2**	0.00011**
Packaging type * Storage duration	9	0.278**	269.05**	0.00007**
Experimental error	30	0.035	6.55	0.000002
C.V. (%)		15.6	15.8	9

**: Significant at 1% probability level.

محتوای اسانس میوه‌ها

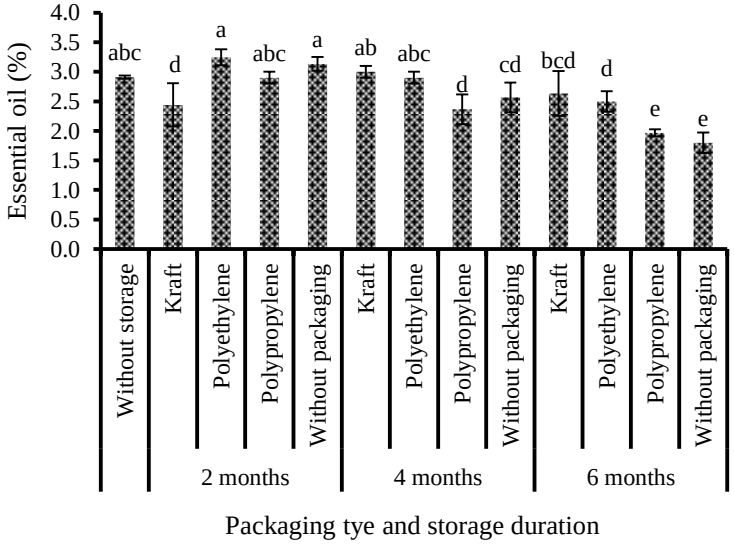
در پایان مدت نگهداری میوه‌ها در انبار، بیشترین (۳/۲۵٪) و کمترین (۱/۸٪) میزان اسانس به‌ترتیب از میوه‌های دو ماه انبار شده با بسته‌بندی پلی‌اتیلن و میوه‌های شش ماه انبار شده بدون بسته‌بندی بدست آمد (شکل ۲). میانگین درصد اسانس میوه‌های رازیانه در شروع انبارمانی، ۲/۹٪ بود. میزان اسانس میوه‌های بسته‌بندی کرافت بعد از دو ماه انبارمانی، کاهش معنی‌داری نسبت به میزان اسانس میوه‌ها در شروع انبارمانی نشان داد، ولی محتوای اسانس میوه‌های این نوع بسته‌بندی بعد از چهار ماه و شش ماه انبارمانی، تفاوت قابل توجهی با میزان اسانس میوه‌ها در شروع انبارمانی نداشتند.

محتوای اسانس میوه‌های بسته‌بندی نشده و نیز میوه‌های موجود در بسته‌بندی پلی‌اتیلنی، بعد از دو ماه و چهار ماه انبارمانی، تفاوت چشمگیری با میزان اسانس میوه‌ها در شروع انبارمانی نداشتند، ولی با افزایش مدت زمان انبارمانی به شش ماه، کاهش معنی‌داری در میزان اسانس آنها مشاهده شد.

در مورد بسته‌بندی پلی‌پروپیلن، از لحاظ میزان اسانس بین میوه‌های انبار شده به مدت دو ماه (۲/۹٪) و میوه‌ها در شروع انبارمانی (۲/۹۱٪)، تفاوت قابل توجهی دیده نشد، ولی میوه‌هایی که به مدت چهار ماه (۲/۳۷٪) و شش ماه (۱/۹۷٪) در این نوع بسته‌بندی نگهداری شده بودند، کاهش معنی‌داری در میزان اسانس آنها مشاهده شد.

بعد از دو ماه انبارمانی، بیشترین میزان اسانس (۳/۲٪) از میوه‌هایی بدست آمد که در پلی‌اتیلن بسته‌بندی شده بودند، البته تفاوت معنی‌داری با میوه‌های بسته‌بندی نشده نداشتند. بعد از چهار ماه و شش ماه انبارمانی، بیشترین میزان اسانس (به‌ترتیب ۳٪ و ۲/۶٪) متعلق به نمونه‌های بسته‌بندی شده در پاکت کرافت بود که البته با نمونه‌های بسته‌بندی شده در پلی‌اتیلن تفاوت معنی‌داری نداشتند.

کمترین میزان اسانس بعد از دو ماه انبارمانی از نمونه‌های بسته‌بندی کرافت (۲/۴٪)، بعد از چهار ماه انبارمانی از نمونه‌های بسته‌بندی پلی‌پروپیلن (۲/۴٪) و بعد از شش ماه از نمونه‌های بسته‌بندی نشده (۱/۸٪) بدست آمد (شکل ۲).



شکل ۲- محتوای اسانس میوه رازیانه تحت تأثیر نوع بسته‌بندی و مدت زمان انبارمانی

Figure 2. Essential oil content of *Foeniculum vulgare* fruit affected by packaging type and storage duration

ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس

تعداد ترکیب‌های شناسایی شده در اسانس میوه‌ها متفاوت بود و از ۱۶ ترکیب (در اسانس میوه‌های بدون انبارمانی) تا ۲۴ ترکیب (در اسانس میوه‌های بسته‌بندی پلی‌اتیلن و دو ماه انبار شده و نیز میوه‌های بسته‌بندی نشده و شش ماه انبار شده) متغیر بود. ترکیب‌های شناسایی شده حدود ۸۵/۹٪ (میوه‌های بدون انبارمانی) تا ۹۸/۸٪ (میوه‌های دو ماه انبارشده با بسته‌بندی کرافت) مجموع ترکیب‌های اسانس را تشکیل می‌دادند. ترکیب‌های مشترک بیشتر در اسانس تیمارهای مختلف شامل ای-آنتول، لینالول، لیمونن و استراگول بودند که البته ترتیب غالب بودن و نیز مقدار آنها در تیمارهای مختلف متفاوت بود. بیشترین میزان ای-آنتول (۷۵/۸٪) در اسانس نمونه‌های شش ماه انبار شده بدون بسته‌بندی و کمترین میزان این ترکیب (۴۹/۴۶٪) در اسانس نمونه‌های بدون انبارمانی مشاهده شد. بیشترین (۱۲/۷۹٪) و کمترین (۰/۷۶٪) میزان لینالول، به‌ترتیب در اسانس نمونه‌های بدون انبارمانی و نمونه‌های شش ماه انبار شده با بسته‌بندی پلی‌پروپیلن مشاهده شد. لیمونن بیشترین (۸/۰۵٪) و کمترین (۰/۱۹٪) مقدار را به‌ترتیب در اسانس نمونه‌های دو ماه انبار شده با بسته‌بندی کرافت و نمونه‌های چهار ماه انبار شده با بسته‌بندی پلی‌اتیلن داشت. بیشترین و کمترین میزان استراگول (به‌ترتیب ۸/۴۴ و ۱/۰۵٪) به‌ترتیب در اسانس میوه‌های بدون انبارمانی و میوه‌های چهار ماه انبار شده با بسته‌بندی کرافت بود.

جدول ۲- نوع و میزان ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس میوه رازیانه تحت تأثیر نوع بسته‌بندی و مدت زمان انبارمانی

Table 2. Type and amount of essential oil compounds of *Foeniculum vulgare* fruits affected by packaging type and storage duration

Compound	RI	Without storage	2 months storage				4 months storage			
			Kraft	Polyethylene	Polypropylene	Without packaging	Kraft	Polyethylene	Polypropylene	Without packaging
n-nonane	900	-	-	0.1±0.061	0.07±0.06	0.1±0.004	-	-	0.05±0.05	0.007±0.004
α-pinene	932	1.27±0.07	1.03±0.056	1.12±0.62	0.96±0.18	1.15±0.004	0.83±0.04	1.32±0.73	0.64±0.45	0.86±0.02
camphene	946	0.2±0.0	0.06±0.076	0.058±0.1	0.21±0.20	0.45±0.02	-	-	0.27±0.23	-
verbenene	961	-	0.14±0.08	0.06±0.07	0.12±0.05	0.06±0.002	0.12±0.02	0.08±0.07	0.07±0.03	0.12±0.006
sabinene	969	0.53±0.063	-	0.027±0.04	-	0.08±0.002	-	-	0.03±0.05	-
β-pinene	974	-	-	0.11±0.18	0.18±0.15	0.33±0.02	-	0.09±0.15	0.2±0.18	0.08±0.14
octanone	983	-	0.07±0.004	0.1±0.044	0.15±0.12	0.14±0.001	0.11±0.07	0.16±0.09	0.09±0.04	0.11±0.06
β-myrcene	988	0.39±0.098	0.51±0.046	0.71±0.22	0.50±0.38	0.95±0.03	0.38±0.018	0.39±0.1	0.61±0.22	0.41±0.05
α-phellandrene	1000	2.53±0.31	0.18±0.029	-	0.18±0.31	-	0.1±0.02	-	-	-
p-cymene	1024	-	-	5.27±4.52	2.7±4.7	7.7±0.0007	-	5.84±0.74	4.17±3.6	0.13±0.09
limonene	1024	6.52±0.82	8.05±1.02	2.7±4.2	4.0±3.49	0.27±0.007	6.2±0.58	0.19±0.02	2.36±3.7	6.1±0.06
ocimene	1032	0.66±0.091	0.33±0.03	0.32±0.054	0.35±0.10	0.34±0.05	1.35±1.42	0.36±0.05	0.67±0.24	0.25±0.16
γ-terpinene	1059	0.13±0.0	0.14±0.01	0.15±0.044	0.14±0.04	0.19±0.004	0.08±0.01	0.07±0.06	0.1±0.06	0.1±0.01
cis-sabinene hydrate	1065	-	-	0.011±0.019	-	-	-	-	-	-
terpinolene	1086	-	0.08±0.009	0.06±0.052	0.13±0.08	0.08±0.002	0.03±0.05	0.04±0.03	0.09±0.01	0.05±0.01
linalool	1096	12.79±1.0	9.06±0.26	2.86±4.83	5.7±4.75	4.6±6.46	1.95±1.94	6.29±5.4	0.88±0.42	3.6±5.38
β-thujone	1101	0.22±0.31	0.36±0.41	0.021±0.019	0.008±0.01	-	0.007±0.01	0.36±0.57	0.04±0.06	0.019±0.01
camphor	1141	-	0.27±0.11	0.23±0.059	0.059±0.1	0.27±0.02	0.57±0.41	0.4±0.3	0.33±0.24	0.29±0.09
borneol	1165	-	0.019±0.018	0.024±0.042	0.11±0.2	0.04±0.06	0.77±0.83	0.04±0.04	0.61±0.15	0.18±0.19
pinocamphone	1172	0.61±0.16	0.021±0.018	0.005±0.009	0.29±0.48	-	0.25±0.26	0.03±0.02	0.17±0.08	0.08±0.06
estragole	1195	8.44±0.4	2.96±0.054	1.37±1.49	2.7±0.22	2.7±0.01	1.05±1.74	2.38±1.15	3.03±0.1	3.08±0.03
fenchyl acetate	1229	0.48±0.22	0.25±0.11	0.19±0.011	0.24±0.04	0.18±0.001	0.3±0.01	0.27±0.19	0.3±0.01	0.17±0.017
p-anisaldehyde	1247	1.62±0.31	0.09±0.008	0.08±0.021	0.14±0.06	0.08±0.03	0.15±0.12	0.2±0.24	0.09±0.02	0.21±0.22
E-anethole	1282	49.46±0.97	75.3±1.03	75.4±2.19	70.3±6.6	72.5±1.03	72.03±4.7	72.2±2.3	72.9±1.51	71.7±1.2
germacrene D	1484	0.09±0.007	0.14±0.02	0.16±0.017	0.09±0.08	0.15±0.006	0.08±0.01	0.15±0.09	0.1±0.03	0.09±0.003
Total		85.9±2.1	98.8±0.013	91.1±6.9	89.4±9.04	92.6±5.4	86.48±1.57	90.9±3.05	94.4±1.73	87.8±4.67

ادامه جدول ۲– ...

Continued Table 2. …

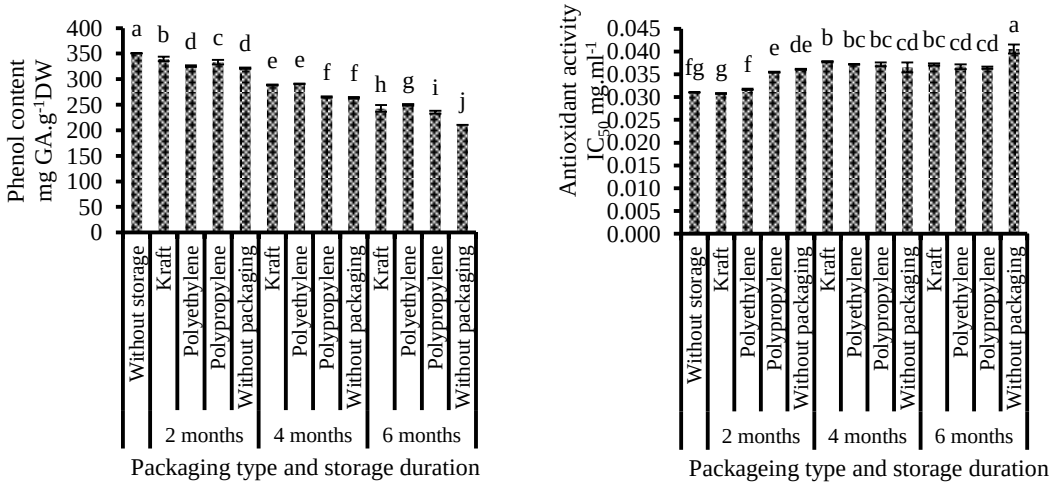
Compound	RI	6 months storage			
		Kraft	Polyethylene	Polypropylene	Without packaging
n-nonane	900	-	-	0.33±0.02	0.07±0.04
α-pinene	932	0.65±0.32	0.92±0.05	0.93±0.05	0.89±0.03
camphene	946	0.1±0.17	0.28±0.12	0.01±0.004	0.17±0.17
verbenene	961	0.07±0.06	0.04±0.08	0.14±0.004	0.057±0.06
sabinene	969	-	-	-	0.02±0.03
β-pinene	974	0.07±0.13	0.1±0.17	-	0.09±0.13
octanone	983	0.21±0.23	0.18±0.007	0.11±0.005	0.09±0.02
β-myrcene	988	0.45±0.009	0.51±0.03	0.04±0.02	0.52±0.16
α-phellandrene	1000	0.08±0.05	-	0.29±0.26	-
p-cymene	1024	1.75±3.03	2.18±3.77	-	2.02±3.49
limonene	1024	4.36±3.63	3.84±3.38	6.37±0.41	4.13±3.45
ocimene	1032	0.44±0.11	2.1±0.13	0.9±0.02	0.43±0.09
γ-terpinene	1059	0.07±0.06	0.13±0.017	0.1±0.009	0.11±0.03
cis-sabinene hydrate	1065	0.007±0.013	0.11±0.09	0.02±0.01	0.03±0.05
terpinolene	1086	-	0.12±0.1	0.09±0.01	0.06±0.011
linalool	1096	6.7±5.33	2.6±0.25	0.76±0.09	3.4±5.78
β-thujone	1101	0.02±0.01	0.015±0.026	0.009±0.01	0.02±0.01
camphor	1141	0.22±0.2	0.63±0.54	0.29±0.23	0.25±0.02
borneol	1165	0.11±0.16	1.96±0.31	0.4±0.06	0.07±0.03
pinocamphone	1172	0.03±0.03	0.59±0.12	0.15±0.008	0.035±0.03
estragole	1195	3.04±0.08	2.14±1.68	2.09±1.67	1.3±1.56
fenchyl acetate	1229	0.23±0.004	0.26±0.005	0.12±0.07	0.16±0.008
p-anisaldehyde	1247	0.23±0.11	0.06±0.06	0.14±0.09	0.09±0.02
E-anethole	1282	71.9±2.38	67.6±0.9	74.5±0.86	75.8±1.59
germacrene D	1484	0.11±0.009	0.1±0.01	0.1±0.002	0.12±0.01
Total		91.0±3.23	86.5±2.58	88.1±1.46	90.0±7.73

پارا–سیمن در برخی تیمارها ازجمله نمونه‌های دو ماه انبار شده با بسته‌بندی پلی‌اتیلن و نیز بدون بسته‌بندی و نمونه‌های انبار شده به مدت چهار ماه با بسته‌بندی پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن، جزو ترکیب‌های غالب اسانس بود، ولی در برخی تیمارها وجود نداشت یا مقدار آن بسیار ناچیز بود (جدول ۲).

فنول و ظرفیت ضداکسایشی

میزان فنول میوه‌ها با افزایش زمان انبارمانی کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین میزان فنول (۳۵۰/۷۵ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم عصاره خشک) متعلق به نمونه‌های بدون انبارمانی و کمترین میزان فنول (۲۱۰/۵ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم عصاره خشک) متعلق به نمونه‌های شش ماه انبار شده بدون بسته‌بندی بود. در نمونه‌های دو ماه انبار شده، بیشترین میزان فنول (۳۳۹/۵ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم عصاره خشک) متعلق به نمونه‌های بسته‌بندی کرافت بود و در نمونه‌های چهار ماه و شش ماه انبار شده، بیشترین میزان فنول (به‌ترتیب ۲۹۰/۸ و ۲۴۹/۹ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم عصاره خشک) مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی پلی‌اتیلن بود (شکل ۳).

با افزایش زمان انبارمانی تا چهار ماه، ظرفیت ضداکسایشی میوه‌ها کاهش نشان داد، ولی بین ظرفیت ضداکسایشی میوه‌های چهار ماه انبار شده و شش ماه انبار شده در بسته‌بندی‌های مشابه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، بلکه تنها بین نمونه‌های بسته‌بندی نشده تفاوت چشمگیری دیده شد. در نمونه‌های دو ماه انبار شده، بیشترین ظرفیت ضداکسایشی (IC_{50}=۰/۰۳ mg/ml) مربوط به نمونه‌های بسته‌بندی کرافت بود. بیشترین ظرفیت ضداکسایشی (IC_{50}=۰/۰۳۶ mg/ml) در نمونه‌های چهار ماه انبار شده متعلق به نمونه‌های بدون بسته‌بندی بود که البته تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های بسته‌بندی شده با پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن نداشت و در نمونه‌های شش ماه انبار شده، بیشترین ظرفیت ضداکسایشی (IC_{50}=۰/۰۳۶۴ mg/ml) متعلق به نمونه‌های بسته‌بندی پلی‌پروپیلن بود که البته با نمونه‌های بسته‌بندی کرافت و پلی‌اتیلن تفاوت معنی‌داری نداشت. به‌طورکلی، بیشترین و کمترین فعالیت ضداکسایشی به‌ترتیب در میوه‌های دو ماه انبار شده در بسته‌بندی کرافت و میوه‌های شش ماه انبار شده بدون بسته‌بندی مشاهده شد (شکل ۳).

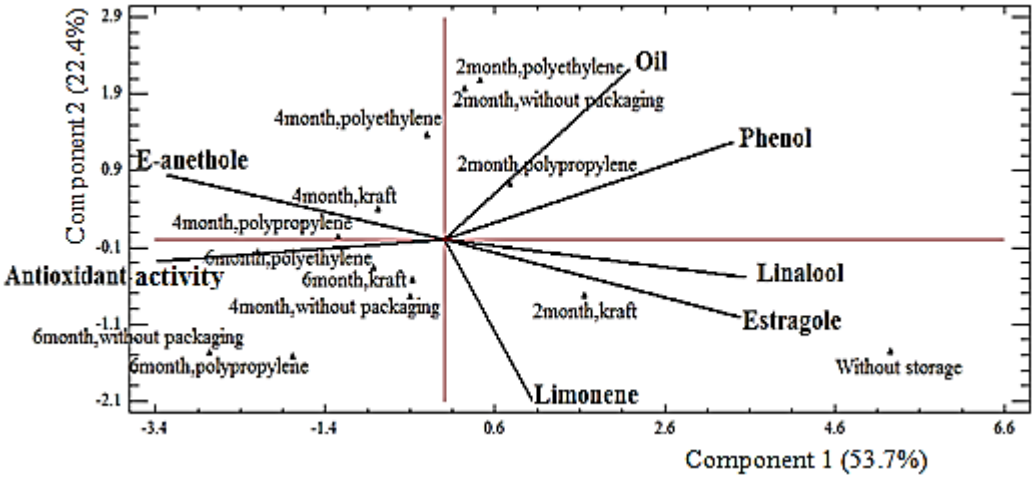


شکل ۳– میزان فنول و فعالیت ضداکسایشی عصاره میوه رازیانه تحت تأثیر نوع بسته‌بندی و مدت زمان انبارمانی

Figure 3. Phenol content and antioxidant activity of *Foeniculum vulgare* fruit extract affected by packaging type and storage duration

بای‌پلات تیمارها براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

نتایج بای‌پلات تیمارها و صفات فنول، فعالیت ضداکسایشی و ترکیب‌های غالب اسانس (ای-آنتول، لینالول، لیمونن و استراگول) براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، نمونه‌های بدون انبارمانی و نمونه‌های ۲ ماه انبار شده با بسته‌بندی کرافت را در یک پلات گروه‌بندی کرد. این نمونه‌ها دارای لینالول، استراگول و فنول بالا و IC_{50} پایین (ظرفیت ضداکسایشی بالا) بودند و بیشترین تشابه را به لحاظ این صفات با هم داشتند. نمونه‌های ۲ ماه انبار شده بدون بسته‌بندی و نیز با بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن که دارای اسانس و فنول نسبتاً بالا و IC_{50} پایینی بودند، در یک پلات جای گرفتند. میوه‌های ۴ ماه انبار شده و بسته‌بندی شده با پلی‌اتیلن، پاکت کرافت و پلی‌پروپیلن بیشترین تشابه را به لحاظ ای-آنتول داشتند و میوه‌های ۶ ماه انبار شده بدون بسته‌بندی و با بسته‌بندی‌های مختلف و نیز ۴ ماه انبار شده بدون بسته‌بندی به لحاظ شباهتی که در میزان اسانس، فنول و ظرفیت ضداکسایشی داشتند (دارای مقادیر پایینی از نظر صفات مذکور بودند) در یک پلات قرار گرفتند (شکل ۴).



شکل ۴- بای‌پلات تیمارهای نوع بسته‌بندی و مدت زمان انبارمانی براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در بررسی اثر این تیمارها بر تغییرات فیتوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی رازیانه

Figure 5. Biplot of pachaging type and storage duration treatments based on principal component analysis (PCA) in "Phytochemical and antioxidant activity changes of *Foeniculum vulgare* fruit affected by these treatments" research

بحث

ازآنجایی‌که اسانس‌ها ترکیب‌های ناپایداری هستند و عواملی مثل نور، گرما، اکسیژن و رطوبت باعث تغییرات کمّی و کیفی آنها می‌شوند، بنابراین برای حفظ کیفیت گیاهان اسانس‌دار بعد از برداشت و ضمن انبارمانی، باید بهینه‌ترین شرایط برای آنها فراهم گردد (Souza *et al.*, 2015). همانطور که نتایج نشان داد، میزان اسانس میوه‌های رازیانه بعد از پایان مدت انبارمانی کاهش معنی‌داری را نشان داد، البته به غیر از نمونه‌های بسته‌بندی کرافت بین میزان اسانس نمونه‌های این نوع بسته‌بندی بعد از شش ماه انبارمانی تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های دو ماه انبار شده مشاهده نشد. اسانس‌ها ترکیب‌های فرّاری بوده و طی انبارمانی به‌ویژه در دماهای نسبتاً بالا، به‌صورت بخار از گیاه خارج می‌شوند (Baritaux *et al.*, 1992؛ Mockute *et al.*,

2005؛ Ebadi *et al*., 2016)، بنابراین کاهش میزان اسانس طی انبارمانی می‌تواند به‌دلیل خروج اسانس به‌صورت بخار از میوه‌های رازیانه باشد. کاهش محتوای اسانس با افزایش مدت زمان انبارمانی در گیاهان آویشن دنایی (*Thymus daenensis* Celak. (Dehghani Mashkani *et al*., 2018)، گل سرخ (Kazaz *et al*., 2009)، بهلیمو (Ebadi *et al*., 2016) و ریحان (Anh *et al*., 2019؛ Costa *et al*., 2009) نیز گزارش شده است. البته در برخی گیاهان ازجمله دارچین و درخت کافور، افزایش مدت زمان انبارمانی تأثیر معنی‌داری روی میزان اسانس نداشته است که می‌تواند به‌دلیل حالت چرمی برگ‌های این گیاهان باشد که خروج اسانس به‌صورت بخار را مشکل می‌کند (Zhang *et al*., 2019؛ Rajeswara Rao *et al*., 2006). کاهش معنی‌دار میزان اسانس نمونه‌های بسته‌بندی کرافت بعد از دو ماه انبارمانی در مقایسه با میزان اسانس نمونه‌ها در شروع انبارمانی شاید به دلیل جاذب بودن این نوع بسته‌بندی باشد که موجب جذب ترکیب‌های فرّار اسانس شده است، ولی بعد از مدتی (بیشتر از دو ماه) از قدرت جذب آن کاسته شده و تغییر محسوسی در میزان اسانس نمونه‌های چهار و شش ماه انبار شده در این نوع بسته‌بندی مشاهده نشد (Ebadi, 2015). همانطور که نتایج نشان داد، بیشترین میزان اسانس در پایان مدت انبارمانی از نمونه‌های بسته‌بندی‌های کرافت و پلی‌اتیلن بدست آمد. بسته‌بندی پلی‌پروپیلن استفاده شده در این پژوهش از نوع رایج مورد استفاده در نگهداری گیاهان دارویی خشک شده ضمن انبارمانی بود که دارای منافذ زیادی بوده و بسیار نفوذپذیر می‌باشد، ازاین‌رو ترکیب‌های فرّار اسانس به‌راحتی می‌توانند از منافذ این نوع بسته‌بندی خارج شوند و شاید از مهمترین دلایل کاهش چشمگیر اسانس نمونه‌های بسته‌بندی مذکور، همین نفوذپذیری بالای آن باشد. در نمونه‌های بسته‌بندی نشده نیز به‌دلیل در معرض هوا بودن و تبخیر و اکسیداسیون بیشتر ترکیب‌های اسانس (Venskutonis *et al*., 1996)، طبیعی است که میزان اسانس آنها با افزایش مدت زمان انبارمانی کاهش معنی‌داری پیدا کند. پلی‌اتیلن نفوذپذیری پایینی در برابر گازها دارد، بنابراین خروج ترکیب‌های اسانس از آن به آسانی انجام نمی‌شود و می‌تواند اسانس نمونه‌ها را بهتر حذف کند (Ebadi, 2015). انتخاب مدت زمان انبارمانی و بسته‌بندی مناسب براساس ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس، بستگی به نوع ترکیب هدف دارد، به‌عبارتی دیگر اینکه کدام ترکیب یا ترکیب‌ها برای ما حائز اهمیت باشد، تعیین‌کننده مدت زمان انبارمانی و بسته‌بندی مطلوب خواهد بود. البته درجه اهمیت یک ترکیب بستگی به نوع استفاده از محصول نیز دارد، زیرا یک محصول ممکن است در صنایع مختلف ازجمله دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی و یا عطرسازی کاربرد داشته باشد و در هر یک از این صنایع ممکن است ترکیب‌های مختلف از اهمیت بالاتری برخوردار باشند. اما آنچه که واضح است، در رازیانه ترکیب‌هایی که میزان بالای آنها در اسانس نشان‌دهنده کیفیت بالای اسانس است، آنتول، فنکون، لینالول و لیمونن بوده و ازجمله ترکیب‌هایی که میزان کم آن در اسانس بیانگر با کیفیت بودن اسانس است، استراگول می‌باشد (Shahat *et al*., 2011؛ Müller *et al*., 1994). ازاین‌رو مدت زمان‌های انبارمانی و بسته‌بندی‌هایی که توانسته باشند آنتول، فنکون، لینالول و لیمونن را در سطح بالا و استراگول را در سطح پایین نگه دارند، برتر خواهند بود. میزان آنتول در نمونه‌های انبار شده نسبت به نمونه‌های انبار نشده، افزایش نشان داد، ولی میزان لینالول و استراگول در نمونه‌های انبار نشده بیشتر از نمونه‌های انبار شده بود. آنتول و استراگول ایزومر هم بوده و قابل تبدیل به یکدیگر هستند و پیش ماده هر دوی آنها، سینامیل الکل است. بنابراین، از آنجایی که آنتول و استراگول پیش ماده یکسانی دارند، افزایش تولید هر یک از آنها به معنای کاهش تولید دیگری خواهد بود (Goff & Klee, 2006). ازاین‌رو، براساس نتایج این پژوهش، اگر هدف دستیابی به اسانسی با میزان آنتول بالا و استراگول پایین است، بهتر است میوه‌های رازیانه مدتی انبار شوند، زیرا در تمام مدت زمان‌های انبارمانی، میزان آنتول بیشتر و میزان استراگول کمتر از نمونه‌های انبار نشده بود، ولی اگر هدف دستیابی به لینالول بالا در اسانس است، انبارمانی توصیه نمی‌گردد. پیش‌ماده

پارا–سیمن، ترکیب لیمونن می‌باشد و همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد، با افزایش مدت زمان انبارمانی در یک نوع بسته‌بندی خاص، افزایش لیمونن با کاهش پارا–سیمن و کاهش لیمونن با افزایش پارا–سیمن همراه است (Martin-Luengo *et al*., 2008).

تأثیر نوع بسته‌بندی بر میزان ترکیب‌های مهم اسانس رازیانه با توجه به مدت زمان انبارمانی متفاوت بود و اینکه در زمان‌های مختلف انبارمانی کدام نوع بسته‌بندی مطلوب‌تر بوده است، بستگی به نوع ترکیب مدنظرمان دارد. برای نمونه، اگر هدف دستیابی به اسانسی با میزان آنتول بالا باشد، در مدت زمان‌های انبارمانی دو، چهار و شش ماه به‌ترتیب بسته‌بندی کرافت، پلی‌پروپیلن و بدون بسته‌بندی مطلوب‌تر بودند اما اگر هدف اسانسی با میزان استراگول پایین باشد، در مدت زمان‌های انبارمانی مذکور به‌ترتیب پلی‌اتیلن، کرافت و بدون بسته‌بندی مناسب‌تر بودند.

شرایط انبارمانی تأثیر بسزایی بر میزان ترکیب‌های فنولی دارد (Ali *et al*., 2018). فاکتورهایی از قبیل نور، دما و اکسیژن از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر میزان ترکیب‌های فنولی طی انبارمانی هستند (Sharma *et al*., 2016). کاهش میزان فنول همزمان با افزایش مدت زمان انبارمانی می‌تواند به‌دلیل اکسید شدن تدریجی ترکیب‌های فنولی در حضور اکسیژن و نیز تخریب آنها تحت تأثیر نور باشد. ترکیب‌های فنولی در معرض نور تخریب شده و میزان آنها کاهش پیدا می‌کند (Qu *et al*., 2012). اکسید شدن ترکیب‌های فنولی تحت تأثیر اکسیژن انبار، یکی از مهمترین دلایل کاهش این ترکیب‌ها طی انبارمانی می‌باشد (Morello *et al*., 2004). در پژوهشی Baghdadi و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر مدت زمان انبارمانی (۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ ماه) و نوع بسته‌بندی (کاغذی، پلی‌اتیلن، آلومینیومی، پلی‌اتیلن–پلی‌آمید با ترکیب‌های گازی مختلف) را بر میزان فنول کل و فعالیت ضداکسایشی رازیانه مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که با افزایش مدت زمان انبارمانی، میزان فنول و فعالیت ضداکسایشی میوه رازیانه کاهش یافت و همچنین دریافتند که مناسب‌ترین نوع بسته‌بندی، با توجه به مدت زمان انبارمانی متفاوت بود. میوه‌های بسته‌بندی‌های پلی‌اتیلن و کرافت در مقایسه با پلی‌پروپیلن و بدون بسته‌بندی از میزان فنول بیشتری برخوردار بودند. بنابراین به نظر می‌رسد تبادل گازی کمتر پلی‌اتیلن و کرافت و نیز نفوذپذیری کمتر آنها نسبت به نور دلیل این نتیجه باشد (Ebadi, 2015). از آنجایی که بخش عمده ظرفیت ضداکسایشی عصاره گیاهی مربوط به ترکیب‌های فنولی موجود در آن است، ازاین‌رو طبیعی است که نمونه‌های با میزان فنول بیشتر از ظرفیت ضداکسایشی بالاتری برخوردار باشند (Ali *et al*., 2018). تفاوت چشمگیر بین ظرفیت ضداکسایشی میوه‌های دو ماه انبار شده با چهار ماه انبار شده در بسته‌بندی‌های مختلف بیانگر سرعت تخریب بالای ترکیب‌های فنولی در اوایل انبارمانی است و عدم تفاوت معنی‌دار ظرفیت ضداکسایشی میوه‌های چهار ماه و شش ماه انبار شده با بسته‌بندی‌های مختلف می‌تواند بیانگر این مهم باشد که بخش عمده‌ای از واکنش‌ها و تغییر و تبدیلات مؤثر در ظرفیت ضداکسایشی در همان اوایل انبارمانی انجام شده و سرعت و میزان واکنش‌های مذکور در ادامه انبارمانی کاهش یافته است. بای‌پلات تیمارها براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی این امکان را به ما می‌دهد که تیمارهای با تشابهات بیشتر به لحاظ صفات اندازه‌گیری شده را شناسایی کنیم و در نهایت براساس مجموع صفات مدنظرمان، تیمار بهتر را تعیین کنیم.

به‌طورکلی آنچه که از نتایج این پژوهش می‌توان استنباط کرد، این است که با افزایش مدت انبارمانی، از میزان اسانس میوه‌های رازیانه کاسته شد (به غیر از بسته‌بندی کرافت)، ازاین‌رو اگر هدف دستیابی به میزان اسانس بالا در رازیانه است، انبارمانی توصیه نمی‌گردد، ولی اگر ناچار به انبار کردن میوه‌های رازیانه باشیم، براساس میزان اسانس، بسته‌بندی‌های کرافت و پلی‌اتیلن تا حدودی مناسب‌تر از پلی‌پروپیلن و شرایط بدون بسته‌بندی هستند. اگر کیفیت اسانس (نوع و میزان ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس) برای ما از اهمیت بیشتری برخوردار باشد، با توجه به نوع ترکیب، باید انبار کردن یا نکردن، مدت زمان انبارمانی و نوع بسته‌بندی تعیین گردد و نمی‌توان تیماری را تعیین کرد که به

لحاظ تمام صفات اندازه‌گیری شده در بهترین وضعیت باشد. مثلاً اگر هدف دستیابی به اسانسی با میزان ای-آنتول بالا باشد، انبارمانی به مدت شش ماه بدون بسته‌بندی مناسب‌ترین شرایط است.

References

- Akhbari, M., Kord, R., Jafari Nodooshan, S. and Hamedi, S., 2019. Analysis and evaluation of the antimicrobial and anticancer activities of the essential oil isolated from *Foeniculum vulgare* from Hamedan, Iran. Natural Product Research, 33(11): 1629-1632.
- Ali, A., Chong, C.H., Mah, S.H., Abdullah, L.C., Choong, T.S.Y. and Chua, B.L., 2018. Impact of storage conditions on the stability of predominant phenolic constituents and antioxidant activity of dried piper betle extracts. Molecules, 23(2): 484.
- Anh, T.T., Duyen, L.T., Hang, L.M., Lam, T.D., Bach, L.G., Nguyen, D.C. and Toan, T.Q., 2019. Effect of drying temperature and storage time on *Ocimum gratissimum* Linn. leaf essential oil from Central Highlands, Vietnam. Materialstoday: Proceedings, 18(7): 4648-4658.
- Babalar, M., Mohtashami, S., Ebrahimzadeh Musavi, S.M. and Mirjalili, M.H., 2014. The effect of different packaging methods on quantitative and qualitative characteristics of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(1): 142-157.
- Baghdadi, G., Azizi, M. and Sedaghat, N., 2020. The antioxidant activity and total phenol content of seeds from four species of Apiaceae family under different storage conditions. International Journal of Postharvest Technology and Innovation, 7(3): 184-204.
- Baritaux, O., Richard, H., Touche, J. and Derbesy, M., 1992. Effects of drying and storage of herbs and spices on the essential oil. Part 1. Basil, *Ocimum basilicum* L. Flavour and Fragrance Journal, 7: 267-271.
- Chaliha, M., Cusack, A., Currie, M., Sultanbawa, Y. and Smyth, H., 2013. Effect of packaging materials and storage on major volatile compounds in three Australian native herbs. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61(24): 5738-5745.
- Costa, L.C.B., Pinto, J.E.B.P., Bertolucci, S.K.V., Alves, P.B. and Evangelino, T.S., 2009. Variation in essential oil yield and chemical composition of whole and powdered "atroveran" (*Ocimum selloi* Benth.) leaves under storage conditions. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 11(1): 43-48.
- Dehghani Mashkani, M.R., Naghdi Badi, H., Larijani, K. and Mehrafarin, A., 2018. Changes in the essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. under pre-drying and different storage conditions. Journal of Medicinal Plants, 17(68): 49-65.
- Ebadi, M.T., 2015. Principles of medicinal and aromatic plants packaging and storage. Baghdar Magazine, 97: 19-26.
- Ebadi, M.T., Sefidkon, F., Azizi, M. and Ahmadi, N., 2016. Packaging methods and storage duration affect essential oil content and composition of lemon verbena (*Lippia citriodora* Kunth.). Food Science and Nutrition, 5(3): 588-595.
- Goff, S.A. and Klee, H.J., 2006. Plant volatile compounds: sensory cues for health and nutritional value?. Science, 311(5762): 815-819.
- Golestannejad, Z., Gavanji, S., Mohammadi, E., Motamedi, A., Bahrani, M., Rezaei, F., Larki, B., Mojiri, A. and Bakhtari, A., 2017. Comparison of antibacterial activity of essential oils of *Foeniculum vulgare* Mill., *Mentha arvensis* and *Mentha piperita* against *Streptococcus mutans*. Advanced Herbal Medicine, 3(1): 3-13.
- Jesus, A.S., Blank, A.F., Alves, M.F., Arrigoni-Blank, M.F., Lima, R.N. and Alves, P.B., 2016. Influence of storage time and temperature on the chemical composition of the essential oil of *Hyptis pectinata* L. poit. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 18(1): 336-340.
- Kazaz, S., Erbas, S. and Baydar, H., 2009. The effects of storage temperature and duration on essential oil content and composition oil rose (*Rosa damascena* Mill.). Turkish Journal of Field Crops, 14(2): 89-96.
- Khorshidi, J., Morshedloo, M.R. and Moradi, Sh., 2020. Comparison of growth properties, essential oil content, total phenol, and antioxidant potential of different populations of three *Hypericum* species (*H. scabrum* L., *H. asperulum* Jaub. & Spach. and *H. vermiculare*) gathered from Kurdistan province. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 36(4): 655-669.
- Khorshidi, J., Tabatabaei, M.F., Omidbaigi, R. and Sefidkon, F., 2009. Effect of densities of planting on yield and essential oil components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *Soroksary*). Journal of Agricultural Science, 1(1): 152-157.
- Laher, F., Aremu, A.O., Van Staden, J. and Finnie, J.F., 2013. Evaluating the effect of storage on the biological activity and chemical composition of three South African medicinal plants. South African Journal of Botany, 88: 414-418.
- Li, J., Song, W., Barth, M.M., Zhuang, H., Zhang, W., Zhang, L., Wang, L., Lu, W., Wang, Zh., Han, X. and Li, Q., 2015. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on the quality of sea buckthorn berry fruits during postharvest storage. Journal of Food Quality, 38(1): 13-20.

Ocimum basilicum L. during storage. Journal of essential oil research, 25(3): 227-232.
- Santana, A.C.M.D, Uetenabaro, A.P.T., Silva, T.M.D.B., Costa, L.C.D.B. and Bomfim, L.C.D., 2017. Storage conditions of *Ocimum gratissimum* L. leaves influence the quality of essential oil. Journal of Essential Oil Research, 29(1): 56-63.
- Shahat, A.A., Ibrahim, A.Y., Hendawy, S.F., Omer, E.A., Hammouda, F.M., Abdel-Rahman, F.H. and Saleh, M.A., 2011. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of essential oils from organically cultivated fennel cultivars. Molecules, 16(2): 1366-1377.
- Sharma, R.J., Gupta, R.C., Singh, S., Bansal, A.K. and Singh, I.P., 2016. Stability of anthocyanins and anthocyanidins enriched extracts, and formulations of fruit pulp of *Eugenia jambolana* ("jamun"). Food Chemistry, 190(1): 808-817.
- Sharopov, F., Valiev, A., Satyal, P., Gulmurodov, I., Yusufi, S., Setzer, W.N. and Wink, M., 2017. Cytotoxicity of the essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare*) from Tajikistan. Foods, 6(9): 73-83.
- Singleton, V.L., Orthofer, R. and Lamuela-Raventós, R.M., 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology, 299: 152-178.
- Soroka, W., 2009. Fundamentals of Packaging Technology. Institute of Packaging Professionals, 623p.
- Souza., C.R.F., Fernandez, L.P., Bott, R.F. and Oliveira, W.P., 2015. Influence of the drying process and storage condition on the dissolution behavior of dried extracts of *Bauhinia forficata* and *Passiflora alata*. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 17(1): 67-75.
- Venskutonis, R., Poll, L. and Larsen, M., 1996. Influence of drying and irradiation on the composition of volatile compounds of thyme (*Thymus vulgaris* L.). Flavour and Fragrance Journal, 11: 123-128.
- Wahba, H.E., Rabbu, H.S.A. and Ibrahim, M.E., 2020. Evaluation of essential oil isolated from dry coriander seeds and recycling of the plant waste under different storage conditions. Bulletin of the National Research Centre, 44(1): 192-198.
- Zhang, T., Yang, H., Wen, Sh., Qiu, F. and Liu, X., 2019. Effects of harvest season and storage time on the essential oil of the linalool chemotype of *Cinnamomum camphora*. Journal of Essential Oil-Bearing Plants, 22(5): 1379-1385.
- Lisboa, C.F., Melo, E.D.C. and Donzeles, S.M.L., 2018. Influence of storage conditions on quality attributes of medicinal plants. Biomedical Journal of Scientific and Technical Research, 4(4): 4093-4095.
- Martin-Luengo, M.A., Yates, M., Martinez Domingo, M.J., Casal, B., Iglesias, M., Esteban, M. and Ruiz-Hitzky, E., 2008. Synthesis of p-cymene from limonene, a renewable feedstock. Applied Catalysis B: Environmental, 81: 218-224.
- Misharina, T.A., 2001. Influence of the duration and conditions of storage on the composition of the essential oil from coriander seeds. Applied Biochemistry and Microbiology, 37(6): 622-628.
- Mockute, D., Bernotiene, G. and Judpentiene, A., 2005. Storage-induced changes in essential oil composition of *Leonurus cardiaca* L. plants growing wild in Vilnius and of commercial herbs. Chemija, 16(2): 29-32.
- Moradi, Sh., Khorshidi, J. and Morshedloo, M.R., 2020. Field evaluation of iron and zinc chelates foliar application on morphological characteristics, yield, and essential oil content of native and improved fennel. Journal of Crops Improvement, 22(3): 461-473.
- Morello, J.R., Motilva, M.J., Tovar, M.J. and Romero, M.P., 2004. Changes in commercial virgin olive oil (cv Arbequina) during storage, with special emphasis on the phenolic fraction. Food Chemistry, 85: 357-364.
- Müller, L., Kasper, P., Müller-Tegethoff, K. and Petr, T., 1994. The genotoxic potential in vitro and in vivo of the allyl benzene etheric oils estragole, basil oil and trans-anethole. Mutation Research Letters, 325(4): 129-136.
- Potisate, Y., Kerr, W.L. and Phoungchandang, S., 2015. Changes during storage of dried *Moringa oleifera* leaves prepared by heat pump-assisted dehumidified air drying. International Journal of Food Science and Technology, 50(5): 1224-1233.
- Qu, W., Breksa, I.A.P., Pan, Z., Ma, H. and Mchugh, T.H., 2012. Storage stability of sterilized liquid extracts from pomegranate peel. Journal of Food Science, 77(7): 765-772.
- Rajeswara Rao, B.R., Rajput, D.K., Kaul, P.N., Bhattacharya, A.K. and Naqvi, A.A., 2006. Effect of short and long-term storage on essential oil content and composition of cinnamon (*Cinnamomum verum* Bercht. & Presl.) leaves. Journal of Spices and Aromatic Crops, 15(1): 19-24.
- Rosado, L.D.S., Pinto, J.E.B.P., Bertolucci, S.K.V., Jesus, H.C.R.D. and Alves, P.B., 2013. Changes in the content and composition of the essential oil of

Phytochemical and antioxidant activity changes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) fruit affected by packaging type and storage duration

F. Babakhani[1], J. Khorshidi[2*] and M.R. Morshedloo[3]

1- M.Sc. student, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2*- Corresponding author, Research Center of Medicinal Plants Breeding and Development, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, E-mail: j.khorshidi@uok.ac.ir
3- Department of Horticultural Science and Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Received: April 2022 Revised: May 2022 Accepted: May 2022

Abstract

Postharvest conditions have a noticeable effect on the quantity and quality of secondary metabolites of medicinal plants. Accordingly, in the present study, the effects of different storage durations (0, 2, 4, and 6 months) and packaging types (kraft, polyethylene, polypropylene, and without packaging) on the quantity and quality of essential oil and phenol and antioxidant activity of methanol extract in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) fruit were evaluated. Essential oils and methanol extracts were prepared using hydrodistillation (Clevenger, for 3 hours) and Soxhlet extraction methods, respectively. Essential oils were analyzed by GC-FID and GC-MS. In general, increasing the storage duration reduced the essential oil content of fennel (with the exception of kraft packaging) and the rate of this reduction varied depending on the packaging type. The polyethylene-packed fruitsstored for 2 months and unpacked fruits stored for 6 months had the highest (3.25% *v*/*w*) and lowest (1.8% *v*/*w*) essential oil content, respectively. The number, type, and amount of essential oil compounds were affected by storage duration and packaging type. The highest (75.8%) and lowest (49.46%) amounts of *E*-anethole were obtained from the essential oil of unpacked fruits stored for 6 months and unstored fruits, respectively. The amount of phenol and antioxidant activity decreased with increasing storage duration, but the effect of packaging type varied at different storage durations. Overall, based on the essential oil content, phenol, and antioxidant activity, storage of fennel could not be recommended, but based on the type of target compound in the essential oil, different storage durations could be suggested. If the storage of fennel is necessary, the polyethylene and kraft packaging could be recommended based on the total characteristics measured in this research.

Keywords: *Foeniculum vulgare* Mill., storage, packaging, essential oil, phenol.