مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تأثیراستفاده از روش‌های مختلف خشک‌کردن و بسته‌بندی تحت اتمسفر اصلاح شده بر برخی ویژگی‌های کیفی پودر سیب

شیوا روشنی[۱]، سید احمد شهیدی[۲]، آزاده قربانی حسن سرایی[۳*]، شهرام نقی زاده رئیسی[٤]

۱- دانشجوی دکترا،گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

٤- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آیت ا... آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۱۲/۰۸

کلمات کلیدی:

بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده،

خشک‌کردن انجمادی،

خشک‌کردن پاششی،

ویژگی‌های تغذیه‌ای.

DOI: 10.52547/fsct.19.124.217

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1

* مسئول مکاتبات:

azade380@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر سیب تولید شده با روش‌های مختلف خشک‌کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور بررسی اثر انبارمانی بر ویژگی‌های تغذیه‌ای پودرهای سیب، نمونه‌ها در اتمسفر تغییر داده شده بسته‌بندی و طی بازه‌های ۱۳۵ و ۲۷۰ روز مورد بررسی قرار گرفتند. برش‌های سیب با استفاده از روش‌های خشک‌کردن انجمادی، مایکروویو و آون و همچنین آب سیب به روش‌های پاششی و کف‌پوشی خشک گردید. نتایج نشان داد بالاترین میزان ویتامین ث (ASA)، ترکیبات فلاونوئیدی (TF) و ترکیبات فنلی (TP) مربوط به پودرهای تولیدی با روش انجمادی و پس‌ازآن پاششی بود. کمترین تغییرات رنگ نسبت به نمونه تازه در پودرهای تولیدی با خشک‌کن انجمادی و پس از آن مایکروویو دیده شد. بسته‌بندی در اتمسفر تغییر داده شده منجر به کاهش معنی‌دار تخریب ASA، TF و TP نسبت به اتمسفر معمولی طی ۹ ماه نگهداری شد. نتایج نشان داد روش خشک‌کردن تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های پودر سیب داشته و بین روش‌های مورد بررسی، خشک‌کردن انجمادی و پاششی به ترتیب برای خشک‌کردن سیب به صورت قطعه شده و آب‌گیری شده مناسب‌تر هستند.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]

[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

۱- مقدمه

سیب (*Malus domestica*) دارای طعمی منحصربه‌فرد و حاوی ترکیبات تغذیه‌ای ارزشمند ازجمله فیبرهای محلول، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و مواد معدنی بوده که باعث شده است این میوه به‌عنوان یکی از منابع تأمین سلامتی انسان مدنظر کارشناسان تغذیه قرار گیرد [۱]. سیب نیز همانند سایر فرآورده‌های باغی به‌دلیل بالا بودن میزان رطوبت در معرض واکنش‌های مخرب فیزیکوشیمیایی و میکروبی بوده که منجر به کاهش کیفیت آن می‌شوند [۲ و ۳]. به منظور افزایش زمان ماندگاری این محصول و همچنین در دسترس بودن آن در تمام طول سال، روش‌های مختلفی از جمله انبارداری سرد، استفاده از پوشش‌ها به‌ویژه پوشش‌های خوراکی، خشک‌کردن و تولید کمپوت مورد ارزیابی قرار گرفته است [۲]. به موازات افزایش دانش جوامع در خصوص فواید تغذیه‌ای میوه‌ها و لزوم استفاده از آنها در رژیم غذایی‌شان، محققان بر توسعه روش‌هایی تمرکز کرده‌اند که به‌واسطه آنها بتوان زمان ماندگاری میوه‌ها را افزایش داد و کیفیت تغذیه‌ای آنها را حفظ نمود. در این راستا، خشک‌کردن به عنوان روشی شناخته شده در نگهداری مواد غذایی، به طور موفقیت‌آمیزی برای تولید میوه‌های خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش نه‌تنها ویژگی‌های فنّاورانه محصول ازجمله میزان ماندگاری افزایش‌و حجم کاهش می‌یابد، بلکه فرم جدیدی از فرآورده‌های با ارزش تغذیه‌ای بالا تولید می‌گردد. تاکنون تکنیک‌های مختلف خشک‌کردن برای تولید سیب خشک به‌کار رفته است که از این میان می‌توان به خشک‌کردن با هوای داغ [٤]، مایکروویو [۵]، مایکروویو-هوای داغ [۲]، آون [۷-۵]، خشک‌کردن انجمادی [۸]، تحت خلأ [۸]، فروسرخ [۹]، کف‌پوشی [۱۰] و پاششی [۸] اشاره کرد. خشک‌کردن به‌عنوان روشی جهت حذف آب از میوه، دارای تأثیر محسوسی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تغذیه‌ای محصول نهایی می‌باشد[۱۱]. هر روش خشک‌کردن دارای مشخصه‌های مخصوص به خود ازجمله مدت فرآیند خشک‌کردن، دما، محیط حرارت‌دهی، مکانیسم انتقال جرم و حرارت، حالت فیزیکی محصول نهایی، هزینه‌های فرآیند و غیره می‌باشد که ترکیب این پارامترها در حالت بهینه بایستی به‌گونه‌ای باشد که محصولی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی مطلوب به‌دست آید [۱۲ و ۱۳]. بدیهی است انتخاب بهترین روش خشک‌کردن سیب مستلزم طراحی یک تحقیق جامع است که در آن متداول‌ترین روش‌های خشک‌کردن مورد ارزیابی قرارگرفته و به دنبال آن ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصول نهایی بررسی و بهترین تکنیک انتخاب گردد.

قرار گرفتن محصول در معرض هوا منجر به بروز آسیب‌های جبران‌ناپذیری از جمله تغییر رنگ، تغییر حالت فیزیکی، تخریب ترکیبات مغذی و نهایتاً کاهش معنی‌دار کیفیت می‌شود. واکنش میلارد یکی از واکنش‌هایی است که غلظت اکسیژن نقش مهمی در آن داشته و طی آن حدود ۲۵۰۰ ماده فرار ایجاد می‌شود [١٤]. بعلاوه به دلیل واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی، آنزیم‌های پلی فنول از موجود در بافت میوه آزاد و در حضور اکسیژن باعث اکسیده شدن ترکیبات مونوفنولی و ایجاد ترکیبات جدیدی به نام کینون‌ها و در نهایت باعث تولید پیگمان‌های سیاه و قهوه‌ای و تغییرات نامطلوب رنگ در میوه‌ها می‌گردند. زمان، دمای نگهداری و جنس ماده بسته‌بندی تأثیر بسزایی در کیفیت میوه خشک شده طی نگهداری دارد. یکی از راهکارهای کاهش و به حداقل رساندن این واکنش‌های مخرب، ممانعت از تماس محصول با هوا و ایجاد اتمسفر تغییر داده‌شده در جهت حفظ کیفیت محصول است. یکی از جدیدترینروش‌های بسته‌بندی در دسترس که امروزه به‌طور وسیعی در بسیاری از انواع محصولات غذایی استفاده می‌شود، به‌عنوان بسته‌بندی با اتمسفر تغییر داده‌شده (MAP) شناخته شده است. این تکنیک بسته‌بندی از طریق تغییر مقادیر گازهای اتمسفری احاطه‌کننده ماده غذایی قادر به گسترش قابل‌توجه زمان ماندگاری محصولات می‌شود. در این روش غلظت گازهای بسته‌بندی مانند دی‌اکسید کربن، نیتروژن و اکسیژن تغییر داده می‌شود [۱۵].

اگرچه میزان فسادپذیری میوه‌های خشک نسبت به انواع تازه آنها به‌مراتب کمتر است اما بازهم این محصولات در معرض فساد هستند [١٦ و ١٧]. استفاده از فنّاوری اتمسفر تغییرداده شده در مورد میوه‌های خشک بسیار محدود بوده و تنها چند کار پژوهشی محدود انجام شده است. راندلوویچ و همکاران [١٨] تأثیر استفاده از اتمسفر تغییر داده شده و جنس فیلم بسته‌بندی را بر ماندگاری زردآلوی خشک شده در دماهای ۲۲-۱۷ درجه سلسیوس ارزیابی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از اتمسفر تغییر داده شده به طور معنی‌داری سبب حفظ کیفیت زردآلوی خشک شده درطی زمان می‌شود. میراندا

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

و همکاران [۱۹] به بررسی تأثیر استفاده از بسته‌بندی تغییر داده شده و جنس ماده بسته‌بندی روی زردآلوی خشک و کشمش پرداختند. فو و همکاران [۲۰] بسته‌بندی برش‌های لیمو ترش تحت شرایط اتمسفر تغییر داده شده با نیتروژن را بر ماندگاری و شاخص‌های کیفی این محصول مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از اتمسفرتغییر داده شده سبب بهبود ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای لیمو طی مدت نگهداری می‌شود. لذا در این مطالعه به بررسی روش‌های مختلف خشک کردن سیب شامل خشک‌کردن پاششی، انجمادی، کف‌پوشی، با آون و مایکروویو پرداخته شده و برخی ویژگی‌های کیفی محصولات نهایی طی ۹ ماه نگهداری در محیط اتمسفر تغییر داده شده و معمولی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

سیب رقم گلدن دلیشز (*Golden Delicious*) از بازار محلی در شهرستان بابل تهیه شده و ازلحاظ اندازه و شکل دسته‌بندی شدند و تا مرحله بعد در یخچال ($8°C$-٤) نگهداری گردیدند. کنسانتره پروتئینی آب پنیر (*WPC*) از شرکت اگری-مارک (آمریکا) تهیه گردید. مالتودکسترین با معادل دکستروز ۱۹-۱٦/۵، صمغ گزانتان، معرف فولین-سیوکالتو، کربنات سدیم، کوئرستین و اسید گالیک از شرکت سیگما (آمریکا) خریداری شد.

۲-۲- تهیه نمونه‌ها

در رابطه با روش‌های خشک‌کردن انجمادی، آون و مایکروویو، سیب‌ها با دست پوست‌گیری شده و با ابعاد مشخص (قطر ۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۱ میلی‌متر) برش زده شدند. به‌منظور جلوگیری از بروز واکنش‌های مخرب، بلافاصله آنزیم‌بری با آب داغ (۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ دقیقه) انجام شد[۱۱]. در مورد روش‌های خشک‌کردن پاششی و خشک‌کردن کف‌پوشی، سیب‌ها پس از پوست‌گیری با استفاده از دستگاه آبمیوه گیری برقی (پارس خزر)، آبگیری شده و سپس با سرعت ۱٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند.

۲-۲-۱- خشک‌کردن

در خصوص خشک‌کردن سیب به‌صورت قطعه، به روش زیر عمل شد: خشک‌کردن آون (*OVD*) استفاده از آون ممرت (آلمان) در دمای ۸۵ درجه سلسیوس به مدت ٤ ساعت و تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد. خشک کردن مایکروویو (*MWD*) با استفاده از آون مایکروویو خانگی ال جی (کره جنوبی) در توان ٤۵۰ وات به مدت ٤۰ دقیقه انجام شد. خشک‌کردن انجمادی (*FZD*) با استفاده از خشک‌کن انجمادی اپرون (کره جنوبی) به مدت ٤۸ ساعت (۸٦- درجه سلسیوس، فشار ۵ میلی بار) انجام شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها در هر روش، از آسیاب چکشی برای پودر کردن نمونه‌ها استفاده گردیده و سپس نمونه‌های پودر سیب در کیسه‌های زیپ‌دار پلی‌اتیلنی قرار گرفته و پس از درزبندی با نوارهای حرارتی، در یخچال ($8°C$-٤) نگهداری گردید.

در خصوص خشک‌کردن آب سیب، به‌صورت زیر عمل شد: در خشک‌کردن پاششی (*SPD*)، ابتدا آب سیب (بریکس ۱۳/۲ ±۰/۲) با مالتودکسترین با نسبت ۱ به ۳ (نسبت ماده جامد محلول سیب به مالتودکسترین) مخلوط شده و هموژنیزاسیون (۱۰۰۰۰*rpm*، ۱ دقیقه) انجام شد. سپس مخلوط به خشک‌کن پاششی بوخی (سوئیس) منتقل گردیده و تحت شرایط عملیاتی شامل دمای هوای ورودی $175\pm5\ ^{o}C$، دمای هوای خروجی $95\pm5\ ^{o}C$، دبی هوا ٦۰۰*l/h*، شدت جریان پمپ پریستالتیک ٤ میلی‌لیتر بر دقیقه و فشار نازل ۲۰*psi* خشک گردید. در مورد خشک‌کردن کف‌پوشی (*FMD*[1])، میزان بهینه از صمغ گزانتان و *WPC*[2] به‌عنوان ترکیبات کف‌زا با در نظر گرفتن پایداری کف و همچنین شرایط فرآیند خشک‌کردن شامل ضخامت کف و دمای خشک‌کردن در آزمایش‌های اولیه تعیین گردید. بدین ترتیب این آب سیب با ۰/۱۵٪ (وزنی/وزنی) صمغ گزانتان و ۵٪ (وزنی/وزنی) *WPC* به عنوان ترکیبات کف‌زا مخلوط گردیده و با استفاده از یک همزن برقی با سرعت بالا مخلوط شد. سپس کف ایجاد شده با ضخامت ٤ میلی‌متر روی یک پلیت آلومینیومی پهن شده و در آون با دمای ٦۰ درجه سلسیوس خشک گردید. نمونه‌های پودر سیب حاصل از هر روش در

1. Foam Mat Drying
2.Whey Protein Concentrate

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

نایلون‌های زیپ‌دار به دور از نور در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری گردید.

۲-۲-۲- شرایط پودر تولید شده

به منظور تعیین اثر اتمسفر بسته‌بندی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی محصول نهایی، پودر تولید شده در کیسه‌های پلی‌اتیلنی با دانسیته کم در اتمسفر معمولی و تحت ۱۰۰٪گاز نیتروژن (اتمسفر تغییر داده شده) بسته‌بندی شدند.

۲-۳- آزمون‌های فیزیکی

۲- ۳- ۱- محتوای رطوبت (*Mc*) و فعالیت آبی (*aw*)

محتوای رطوبت با استفاده از روش خشک‌کردن در آون تحت خلأ (واکیوتم، اسپانیا) در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و تا رسیدن به وزن ثابت تعیین شد. فعالیت آبی با استفاده از دستگاه سنجش فعالیت آبی (لب مستر، سوئیس) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد[۱۲].

۲- ۳- ۲- رنگ

برای بررسی رنگ نمونه‌های خشک‌شده از کالری‌متر (*HunterLabColorflex, Reston, VA, USA*) استفاده شد. برای سیب تازه، از قسمت‌های مختلف برش به‌صورت تصادفی اندازه‌گیری صورت گرفت. برش‌های خشک‌شده به شکل مربع برش خورده و با استفاده از سلفون شفاف پوشیده شد و از ۵ نقطه مختلف سطح اندازه‌گیری انجام گرفت. نتایج اندازه‌گیری بر اساس شاخص‌های L^*، a^* و b^* بیان گردید. برای تعیین اختلاف رنگ ایجادشده از نمونه سیب تازه (ΔE) در طول فرآیند خشک‌کردن، از رابطه زیر استفاده شد:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_p^*)^2 + (a_0^* - a_p^*)^2 + (b_0^* - b_p^*)^2}$$

که زیرنویس o و p به ترتیب مربوط به رنگ سیب تازه و رنگ سیب خشک‌شده، L^*، a^* و b^* به ترتیب نشان‌دهنده روشنایی، قرمزی و زردی است. بافت سیب تازه به‌عنوان مرجع مورداستفاده قرار گرفت. افزایش مقدار ΔE نشان‌دهنده بیشتر بودن تغییرات رنگی بین نمونه مرجع و نمونه خشک‌شده می‌باشد [۲۱].

۲-٤- آزمون‌های شیمیایی

۲-٤-۱- اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل

میزان فلاونوئید کل براساس روش ارزیابی کالری‌متری و با خواندن عدد جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر (*LANGE DR5000, USA*) در طول موج ۵۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد [۲۲] و براساس میلی‌گرم کاتچین در ۱۰۰ گرم نمونه بر اساس منحنی استاندارد بیان گردید.

۲-٤- ۲- اندازه‌گیری میزان فنل کل

ترکیبات فنلی کل با استفاده از روش *Folin-Ciocalteu* و آنالیز اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد [۲۳]. غلظت ترکیبات فنلی کل با استفاده از نمودار کالیبراسیون گالیک اسید به دست آمد. نتایج به‌صورتمیلی‌گرم معادل گالیک اسید در صد گرم (*mg GAE/100g*) گزارش گردید.

۲-٤-۳- اندازه‌گیری ویتامین ث

برای اندازه‌گیری محتوای ویتامین ث نمونه‌های پودر سیب از روش تیتراسیون ۲،٦-دی کلروفنل-ایندوفنل استفاده‌شده و میزان آن به‌صورتمیلی‌گرم به ازای هر صد گرم ماده خشک محصول گزارش گردید [۲۳].

۲-۵- بررسی تأثیر انبارمانی بر ویژگی‌های کیفی پودر سیب

پودرهای سیب تولیدشده با روش‌های مختلف، پس از بسته‌بندی (معمولی و تغییر داده شده) در محلی به دور از نور و در دمای اتاق (^{o}C ۱ ±۲۵) نگهداری شد و در بازه‌های زمانی مشخص، نمونه‌برداری از آنها انجام شده و آنالیزهای مربوطه روی هر نمونه صورت گرفت.

۲- ٦- تجزیه و تحلیل نتایج

برای بررسی اختلاف آماری بین داده‌ها، از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (آنوا) در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از روش توکی استفاده شد. از نرم‌افزار مینی‌تب نسخه ۱۷ برای آنالیز داده‌ها استفاده شد. همه آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام شده و میانگین داده‌ها گزارش گردید.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

۳- نتایج و بحث

۳-۱- رطوبت و فعالیت آبی

رطوبت نمونه‌های پودر سیب تولید شده با روش‌های مختلف خشک‌کردن در محدوده ۵/۱۲-۳/٤۷٪ بود (جدول ۱). روش خشک‌کردن تأثیر معنی‌داری بر محتوای رطوبت محصول نهایی داشت به‌طوری که پایین‌ترین و بالاترین رطوبت نهایی به ترتیب مربوط به نمونه‌های خشک‌شده با خشک‌کن انجمادی و آون بود. نتایج مشابهی به وسیله کاپارینو و همکاران [۲٤] در مورد خشک‌کردن انبه با روش‌های مختلف گزارش گردیده است. درصد رطوبت نهایی در پودرهای تولیدشده با مایکروویو به‌طور معنی‌داری کمتر از خشک‌کن انجمادی، پاششی و کف‌پوشی بود. آندو و همکاران [۲۵] اعلام نمودند تابش مایکروویو به دلیل توانایی در نفوذ به داخل ماده و متعاقباً عمل‌شان بر مولکول‌های آب به‌صورت اختصاصی سبب افزایش حذف آب‌شده و درنتیجه می‌توان به سطوح پایینی از رطوبت دست پیدا کرد. در خصوص نمونه‌های پودر تولید شده از آب سیب، نه‌تنها روش خشک‌کردن در رطوبت نهایی محصول تأثیر معنی‌داری داشته بلکه نوع مواد جانبی مورد استفاده نیز تأثیر مهمی بر این فاکتور داشته است. موریرا و همکاران [۲٦] گزارش نمودند نوع ماده‌ای که تحت عنوان ماده کمکی در فرآیند خشک‌کردن آب‌میوه‌هامورداستفاده قرار می‌گیرد، تأثیر به‌سزایی بر رطوبت نهایی پودر میوه دارد. در پژوهش حاضر، رطوبت نمونه‌های خشک‌شده به روش کف‌پوشی به‌طور معنی‌داری کمتر از نوع خشک‌کن پاششی بود که دلیل این امر می‌تواند تخلخل بالاتر نمونه‌های تولیدی با روش کف‌پوشی باشد که سبب می‌شود رطوبت به‌آسانی از محصول خارج گردیده و نهایتاً سطح رطوبت نهایی پایین‌تر از نوع پاششی باشد. بالاترین سطح رطوبت در پودرهای تولیدی با آون مشاهده شد. دلیل این امر می‌تواند بروز پدیده سخت شدن سطحی با گذشت زمان و در نتیجه ممانعت از خروج کامل رطوبت از لایه‌های داخلی محصول باشد[۲].

فعالیت آبی نمونه‌های مختلف پودر سیب در محدوده ۰/۳٤۷-۰/۲۳۰ بود (جدول ۱). بالاترین و پایین‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به پودر سیب تولید شده با خشک‌کن کف‌پوشی و مایکروویو بود. می‌توان دلیل پایین بودن میزان این شاخص در پودرهای سیب تولید شده با روش کف‌پوشی را چنین تشریح کرد که فعالیت آبی به‌طور بسیار مؤثری تحت تأثیر میزان مواد جامد محلول خصوصاً صمغ‌ها به واسطه توانایی بالای آنها در جذب آب قرار می‌گیرد [۲۷]. در نتیجه، از یک‌سو افزودن صمغ گزانتان و ایزوله پروتئینی آب‌پنیر سبب افزایش ماده جامد محلول شده و از سوی دیگر، گزانتان قادر است حجم بالایی از آب آزاد را جذب نموده و این دو مکانیسم سبب کاهش معنی‌دار فعالیت آبی در نمونه‌های پودر تولیدی با روش کف‌پوشی می‌شود.

Table 1 Moisture content (MC) and water activity (aw) of apple powder after production

Drying method	Mc	aw
Freeze drying (FZD)	3.47 ± 0.13^{e}	0.259 ± 0.005^{d}
Oven drying (OVN)	5.12 ± 0.09^{a}	0.330 ± 0.003^{b}
Spray drying (SPD)	4.58 ± 0.04^{b}	0.317 ± 0.009^{c}
Foam mat drying (FMD)	4.39 ± 0.11^{c}	0.230 ± 0.002^{e}
Microwave drying (MWD)	3.66 ± 0.08^{d}	0.347 ± 0.004^{a}

a, b,c,d,e Significant differences among the means in each column ($P < 0.05$).

۳-۲- رنگ

خشک‌کردن تأثیر معنی‌داری بر هر سه شاخص رنگی L^*، a^* و b^* داشته است (جدول ۲). بالاترین مقادیر L^*، a^* و b^* به ترتیب در نمونه‌های تولیدی با خشک‌کن انجمادی، کف‌پوشی و مایکروویو و پایین‌ترین مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب در نمونه‌های تولیدی با روش‌های خشک‌کردن کف‌پوشی و پاششی مشاهده شد. نتایج مشابهی به‌وسیله الجوهیمی و همکاران [۵] در خصوص خشک‌کردن برش‌های سیب با روش‌های مایکروویو و آون گزارش شده است. پژوهش‌های مختلف نشان دادند که خشک‌کردن میوه‌ها با استفاده از روش‌های مبتنی بر دمای پایین-زمان طولانی (خشک‌کردن انجمادی) یا دمای بالا-زمان کم (مایکروویو،

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

خشک‌کردن پاششی) منجر به تولید محصولاتی با حداقل میزان تخریب رنگ می‌شود [۳۰ – ۲۸]. استفاده از دمای بالا در روش خشک‌کردن با آون منجر به توسعه رنگ قهوه‌ای طلایی در سطح میوه شده که این تغییر با افزایش شاخص b^* مشخص شده است. نتایج مشابهی توسط آنتال و همکاران [۲۹] در مورد خشک‌کردن قطعات سیب گزارش شده است. در خصوص پودرهای سیب تولید شده با استفاده از آب سیب، به‌طور کلی می‌توان گفت استفاده از ترکیبات کف‌زا در روش خشک‌کردن کف‌پوشی و ترکیب حامل در روش خشک‌کردن پاششی سبب تغییرات شدیدی در شاخص‌های رنگی نسبت به نمونه شاهد شده می‌گردد به‌طوری‌که این شاخص‌ها در محدوده‌های حداکثری یا حداقلی قرار گرفته‌اند؛ بنابراین می‌توان گفت استفاده از ترکیبات کمکی در فرآیند خشک‌کردن آب سیب بسته به نوع و همچنین غلظت دارای تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رنگی محصول نهایی هستند.

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، ΔE نیز به مانند شاخص‌های رنگی، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش خشک‌کردن قرار گرفته است به‌طوری که بالاترین و پایین‌ترین میزان تغییرات رنگی به ترتیب مربوط به نمونه‌های پودر سیب تولیدی با روش‌های خشک‌کن انجمادی و کف‌پوشی بود.

Table 2 Color indexes of apple powder after production

Drying method	L*	a*	b*	ΔE
Freeze drying	84.23 ± 0.01 [b]	1.64 ± 0.03 [d]	20.29 ± 0.02 [b]	6.05 ± 0.79 [e]
Oven drying	81.10 ± 0.03 [c]	3.01 ± 0.02 [b]	24.53 ± 0.12 [a]	8.94 ± 1.24 [c]
Spray drying	86.05 ± 0.07 [a]	0.94 ± 0.02 [e]	14.07 ± 0.01 [c]	9.78 ± 1.08 [b]
Foam mat drying	72.83 ± 0.01 [e]	7.13 ± 0.04 [a]	25.18 ± 0.05 [a]	13.39 ± 1.84 [a]
Microwave drying	80.08 ± 0.04 [d]	2.02 ± 0.02 [c]	25.26 ± 0.01 [a]	7.08 ± 0.93 [d]

a, b,c,d,e Significant differences among the means in each column ($P < 0.05$).

در تطابق با نتایج تحقیق حاضر، آنتال و کرکس [۲۸] گزارش نمودند پایین‌ترین میزان تغییرات رنگی نمونه‌های سیب خشک‌شده مربوط به پودر تولیدی با خشک‌کن انجمادی (معادل ۵/۰۱) بوده است. می‌توان گفت ازآنجاکه فرآیند خشک‌کردن انجمادی در دمای بسیار پایین انجام می‌شود، لذا میزان صدمه و تخریب رنگیزه‌ها به حداقل رسیده و محصول نهایی دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مشابه با نمونه تازه است. همچنین میزان ΔE در مورد نمونه‌های خشک‌شده با مایکروویو به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از انواع تولیدی با روش‌های کف‌پوشی، خشک‌کن پاششی و آون بود. کوکورولو و همکاران [۳۱] گزارش نمودند در روش خشک‌کردن با مایکروویو، میزان پدیده گرم شدن بیش‌ازحد سطحی[3] به حداقل رسیده و درنتیجه میزان تغییرات رنگی کاهش می‌یابد. همچنین در مورد نمونه‌هایی که با استفاده از خشک‌کردن آب سیب تولیدشده‌اند، نظر به استفاده از مواد کمکی در روش خشک‌کردن کف‌پوشی و پاششی، روند تغییرات ΔE مشابه با شاخص‌های رنگی و مقادیر بیشینه یا کمینه را تجربه کرد[۱۲].

۳-۳- ویتامین ث

مقدار ویتامینث در نمونه‌های پودر سیب از ٦١ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک برای نمونه تولیدی با روش خشک‌کردن آون تا $۸۷ mg/100\ g\ DM$ برای نمونه تولیدی با خشک‌کن انجمادی متغیر بود (جدول ۳). بالا بودن محتوای این ترکیب در پودر سیب خشک‌شده با روش انجمادی با توجه به اعمال دمای بسیار پایین نسبت به سایر روش‌های خشک‌کردن قابل پیش‌بینی بود. متقابلاً، استفاده از دمای بالا در زمان نسبتاً طولانی سبب شد پودرهای تولیدی با روش خشک‌کردن آون دارای پایین‌ترین محتوای ویتامین ث باشند. در فرآیند خشک‌کردن پاششی، پس از اسپری شدن مخلوط قطرات سیب و ماده حامل در استوانه دستگاه، بلافاصله یک فیلم محافظ در اطراف هر قطره شکل می‌گیرد. این لایه در نقش یک عامل محافظت‌کننده عمل نموده و میزان تخریب ترکیبات حساس به حرارت را در طول فرآیند خشک‌کردن کاهش می‌دهد[۳۲]. از طرف دیگر، زمانی که هر قطره در محیط حرارتی قرار دارد بسیار کوتاه و در حد چند ثانیه است. بالا بودن میزان ویتامین ث در پودرهای تولیدی با مایکروویو را نیز می‌توان درنتیجه کوتاه بودن زمان خشک‌کردن دانست. نتایج مشابهی به‌وسیله هوانگ و همکاران [۳۳] گزارش شده است.

3. Surface overheating

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

Table 3 Ascorbic acid (ASA) content of apple powder after production

Drying method	Freeze drying	Oven drying	Spray drying	Foam mat drying	Microwave drying
mg/100g	87 ± 2 [a]	61 ± 1 [e]	77 ± 1 [b]	67 ± 3 [d]	75 ± 1 [c]

a, b,c,d,e Significant differences among the means in raw ($P < 0.05$).

۳- ٤- محتوای فنل کل

ترکیبات فنلی به‌عنوان ترکیباتی حساس به حرارت شناخته می‌شوند به‌خصوص فنل‌هایی که به‌صورت باند نشده و در سیستم‌های با رطوبت بالا هستند [۳٤]. تغییرات میزان ترکیبات فنل کل در محدوده *GAE/100g* ۳۵۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم برای نمونه‌های خشک شده با آون تا *GAE/100g* ٤۳۵ برای نمونه‌های خشک‌شده با خشک‌کن انجمادی متغیر بود (شکل ۱). به‌طورکلی، با افزایش دما و زمان خشک‌کردن، میزان تخریب این ترکیبات در محصول نهایی افزایش پیدا کرد. نتایج مشابهی به‌وسیله ولف و لیو [۳۵] در خصوص خشک‌کردن پوست سیب گزارش شد که اعلام نمودند میزان تخریب ترکیبات فنلی سیب مانند سایر ترکیبات زیست فعالش به‌طور معنی‌داری متأثر از روش خشک‌کردن می‌باشد. این محققین اعلام کردند میزان ترکیبات فنلی در نمونه‌های تولیدی با روش خشک‌کن انجمادی از لحاظ آماری اختلافی با نمونه تازه ندارد. فرانچینی و همکاران [٤] به نتایج مشابهی در خصوص محتوای فنل کل پودر سیب دست یافتند. یک روند کلی در خصوص وابستگی حرارتی ترکیبات فنلی میوه‌های مختلف مبتنی بر افزایش سطح تخریب با افزایش دما به‌وسیله محققین مختلف گزارش شده است [۳٦ و ۳۷].

۳-۵- محتوای فلاونوئید کل

تأثیر دمای خشک‌کردن بر ترکیبات فلاونوئیدی سیب، دارای روندی مشابه با ترکیبات فنلی بود بطوریکه با افزایش دمای فرآیند، میزان تخریب به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد (شکل ۲). بالاترین میزان ترکیبات فلاونوئیدی در نمونه‌های خشک‌شده با روش انجمادی (*mg catechin equivalents/ 100g* ۱۹۷) و پایین‌ترین مقدار آن، در نمونه‌های تولیدی با آون (*mg catechin equivalents/ 100g* ۱٦۳) مشاهده شد. در خصوص پودر سیب تولیدی با خشک‌کن پاششی، وجود مکانیسم محافظت‌کنندگی ترکیبات دیواره‌ای، منجر به حفظ ترکیبات فلاونوئیدی شده است.

مهدزینل و همکاران [۳۸] گزارش نمودند با افزایش دما در فرآیند خشک‌کردن میوه، میزان تخریب ترکیبات فلاونوئیدی به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند. این محققین اعلام نمودند بالاترین میزان تخریب ترکیبات فنلی مربوط به نمونه‌های خشک‌شده با روش آون و کمترین مقدار مربوط به روش خشک‌کردن انجمادی می‌باشد. شولز و شوبرت [۳۹] نیز گزارش نمودند نوع روش خشک‌کردن سیب تأثیر معنی‌داری بر محتوای فلاونوئیدی آن دارد بطوریکه نمونه‌های خشک‌شده با روش انجمادی دارای بالاترین سطح از ترکیبات فلاونوئیدی بوده و پس‌ازآن نمونه‌های تولیدی با روش مایکروویو تحت خلأ و آون قرار گرفتند.

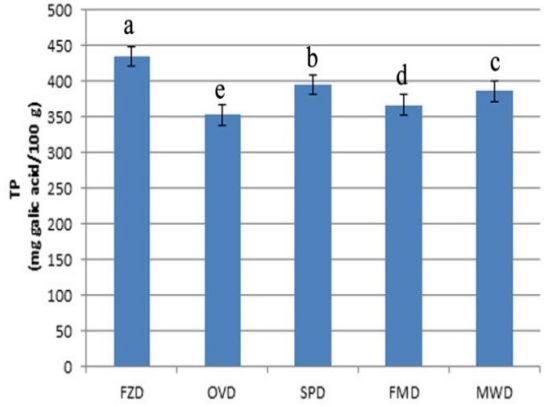

Fig 1 Effect of different drying method on total phenolic compounds (TP) of apple powder after production

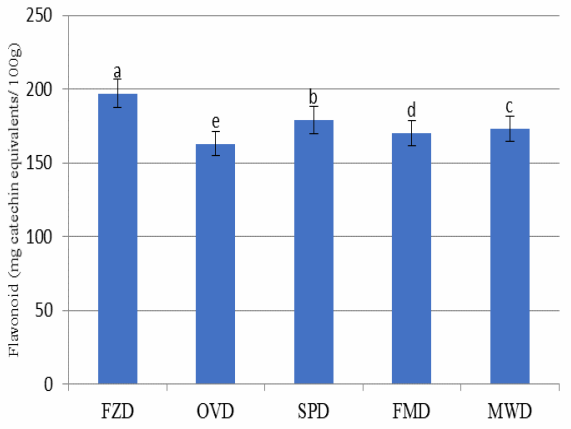

Fig 2 Effect of different drying method on flavonoid compounds (TF) of apple powder after production

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

۳- ٦- تأثیر انبارمانی بر ویژگی‌های پودر سیب

۳- ٦- ۱- ویتامین ث

ویتامین ث به‌عنوان یکی از ترکیبات حساس در مقابل گرما در نظرگرفته‌شده و به‌آسانی در تماس با حرارت از بین می‌رود [٤٠]. ازاین‌رو بررسی مقدار آن در محصولات فرآوری شده نه‌تنها از نظرتغذیه‌ای حائز اهمیت است، بلکه می‌تواند به‌عنوان شاخصی از کیفیت فنّاورانه روش خشک‌کردن در نظر گرفته شود. تغییر در میزان ویتامینثدر طول ۲۷۰ روزنگه‌داری در دمای محیط در هر دو نوع بسته‌بندی (عادی و تغییردادهشده) دارای روند مشابهی بوده (شکل ۳) و مقدار این ترکیب با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. میزان تخریب این ترکیب فعال بین ۱۵ تا ۸۱٪ و در نمونه‌های بسته‌بندی‌شده در اتمسفر معمولی همواره بالاتر از نوع بسته‌بندی‌شده در اتمسفر تغییر داده شده بود. کمترین و بیشترین میزان تخریب در نوع بسته‌بندی‌شده در اتمسفر معمولی و تغییر داده‌شده به ترتیب در نمونه‌های تولیدی با خشک‌کن پاششی و کف‌پوشی بود. دلیل این امر می‌تواند قرار گرفتن پوشش کربوهیدراتی محافظ در روش خشک‌کردن پاششیو بالا بودن تخلخل در روش خشک‌کردن کف‌پوشی باشد که میزان زیادی از اکسیژن را به‌عنوان عامل مخرب در دسترس ویتامین ث قرار داده است. نتایج مشابهی به‌وسیله فو همکاران [۲۰] در مورد تأثیر مثبت اتمسفر تغییر داده‌شده در حفظ کیفیت لیموی خشک‌شده در طول انبارمانی گزارش شده است. آنزیم‌های اکسیدکننده مانند آسکوربیک اسید اکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز ممکن است در تخریب و کاهش ویتامین ث در طول انبارمانی نقش داشته باشند [٤١]. حضور نیتروژن به موازات کاهش میزان اکسیژن در اتمسفر بسته‌بندی می‌تواند به‌واسطه کاهش فعالیت این آنزیم‌ها و متعاقباً کاهش اکسیداسیون، منجر به حفظ بیشتر این ترکیب فعال نسبت به اتمسفر معمولی شود [۲۰].

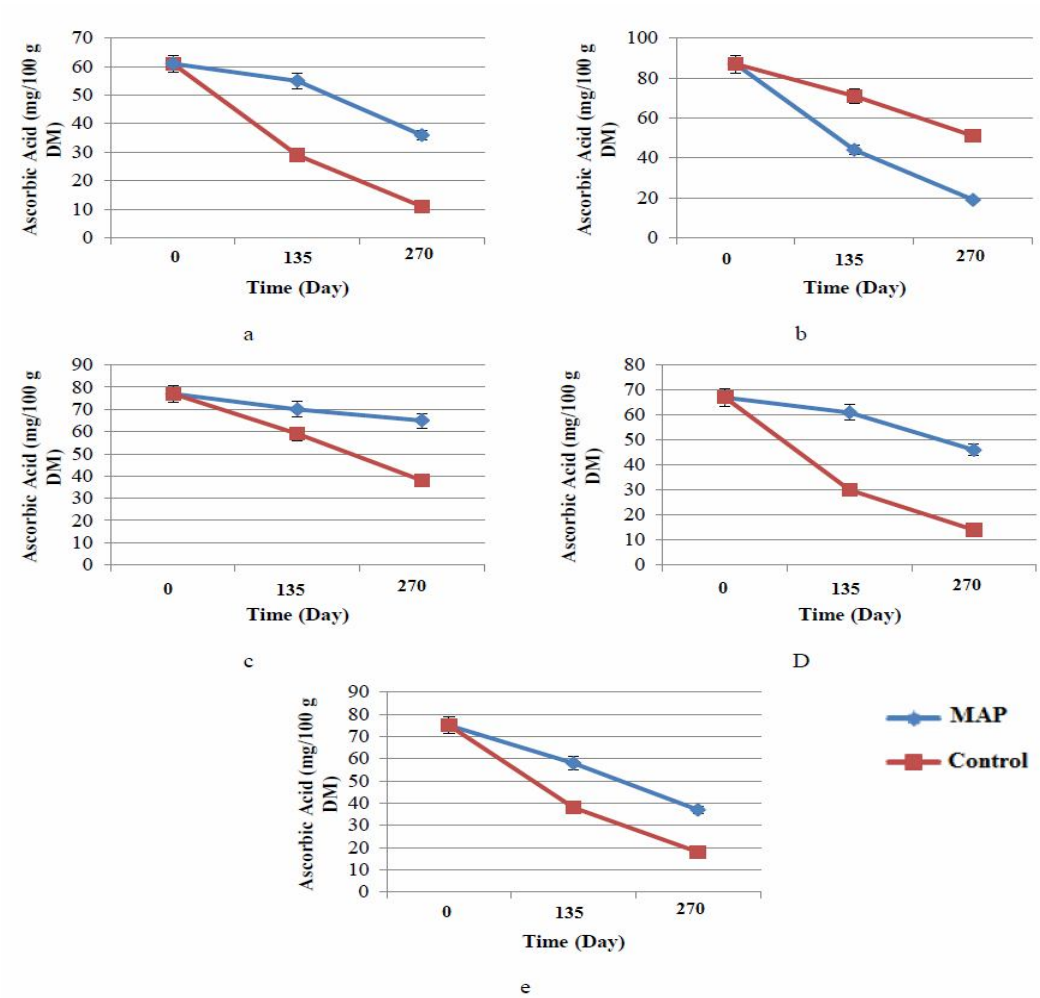

Fig 3 Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on Vitamin C (ASA) content of apple powder during storage: (a) oven drying, (b) freeze drying, (c) spray drying, (d) foam mat drying, (e) microwave drying.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

۳- ٦- ۲- ترکیبات فنلی

استفاده از بسته‌بندی تغییردادهشده تأثیر بسزایی در عمر انبارمانی ترکیبات فنلی داشت (شکل ٤). میزان تخریب این ترکیب فعال در طول ۲۷۰ روزنگه‌داری، بین ١٦ تا ٣٦٪ در نمونه‌های بسته‌بندی‌شده در اتمسفر معمولی و تغییردادهشده متغیر بود. همانند ویتامین ث، میزان تخریب این ترکیب فعال در نمونه‌های بسته‌بندی‌شده در اتمسفر معمولی همواره بالاتر از نوع بسته‌بندی‌شده در اتمسفر تغییردادهشده بود. کمترین و بیشترین میزان تخریب در نوع بسته‌بندی‌شده در اتمسفر معمولی و تغییردادهشده، به ترتیب در نمونه‌های تولیدی با خشک‌کن پاششی و کف‌پوشی بود. نتایج مشابهی به‌وسیله تسانتیلی و همکاران [٤۲] گزارش شد که مدعی شدند میزان تخریب ترکیبات فنلی پسته بسته‌بندی‌شده در اتمسفر نیتروژن به‌طور معنی‌داری کمتر از اتمسفر معمولی بود. همچنین فو و همکاران [۲۰]گزارشی مشابه مبنی تأثیر مثبت بسته‌بندی در گاز نیتروژن در حفظ ترکیبات فنلی برش‌های خشک‌شدهلیموترش ارائه نمودند به‌طوری‌که تخریب حدود ٤٦٪ این ترکیبات در طی ۷ هفته نگهداری در گاز نیتروژن و ٥٥٪ در بسته‌بندی معمولی مشاهده شد.

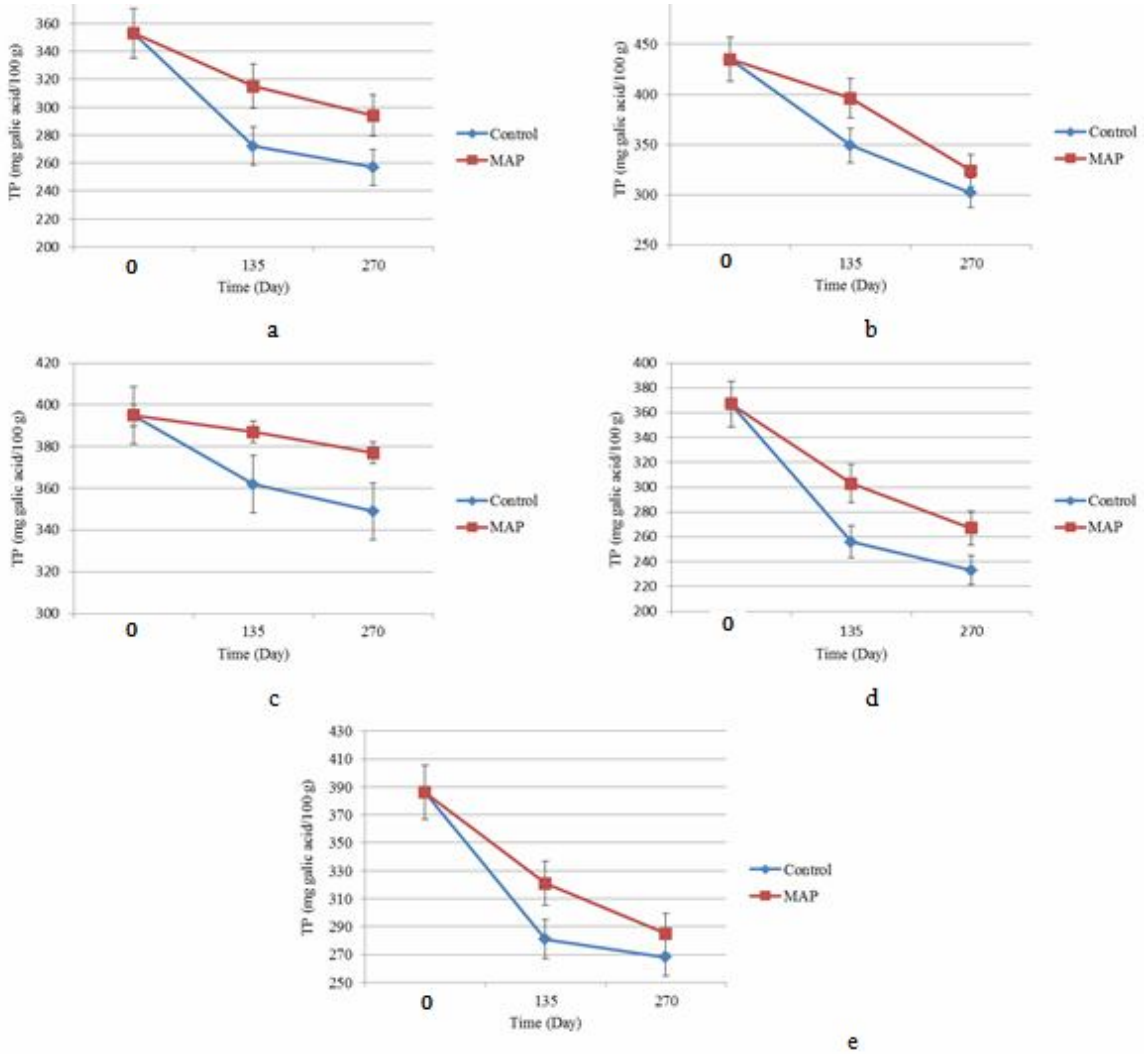

Fig 4 Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on total phenolic content of apple powder during storage: (a) oven drying, (b) freeze drying, (c) spray drying, (d) foam mat drying and (e) microwave drying.

۳- ٦- ۳- ترکیبات فلاونوئیدی

میزان تخریب فلاونوئید کل نمونه‌های مختلف پودر سیب در طی نگهداری بین ۲۳ تا ٤٨٪ وبالاتر از ترکیبات فنلی بود (شکل ٥). دلیل این امر حساسیت بالاتر این ترکیبات می‌باشد. در بیشتر میوه‌ها و سبزی‌ها، فلاونوئیدها دارای باندهای C-گلیکوزیدی بوده و به‌صورت دیمر یا الیگومر هستند. اعمال حرارت و قرار گرفتن در معرض سایر عوامل ازجمله انبارمانی، منجر به هیدرولیز این باندها و شکل‌گیری مونومر می‌شود [٤۳]. از طرف دیگر، روندی مشابه با ترکیبات فنلی در

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

خصوص میزان تخریب این ترکیب فعال در نمونه‌های بسته‌بندی‌شده در اتمسفر معمولی مشاهده شد بطوریکه میزان تخریب ترکیبات فلاونوئیدی همواره بالاتر از نوع بسته‌بندی‌شده در اتمسفر تغییردادهشده بود. کمترین و بیشترین میزان تخریب در نوع بسته‌بندی‌شده در اتمسفر معمولی و تغییردادهشده، به ترتیب در نمونه‌های تولیدی با خشک‌کن پاششی و کف‌پوشی بود. فو همکاران [۲۰] اعلام نمودند بسته‌بندی در گاز نیتروژن منجر به حفظ ترکیبات فلاونوئیدی برش‌های خشک‌شدهلیموترش به میزان ۶۰٪ شد در حالی‌که بسته‌بندی در اتمسفر معمولی سبب حفظ ۴۰٪ این ترکیبات فراسودمند شد.

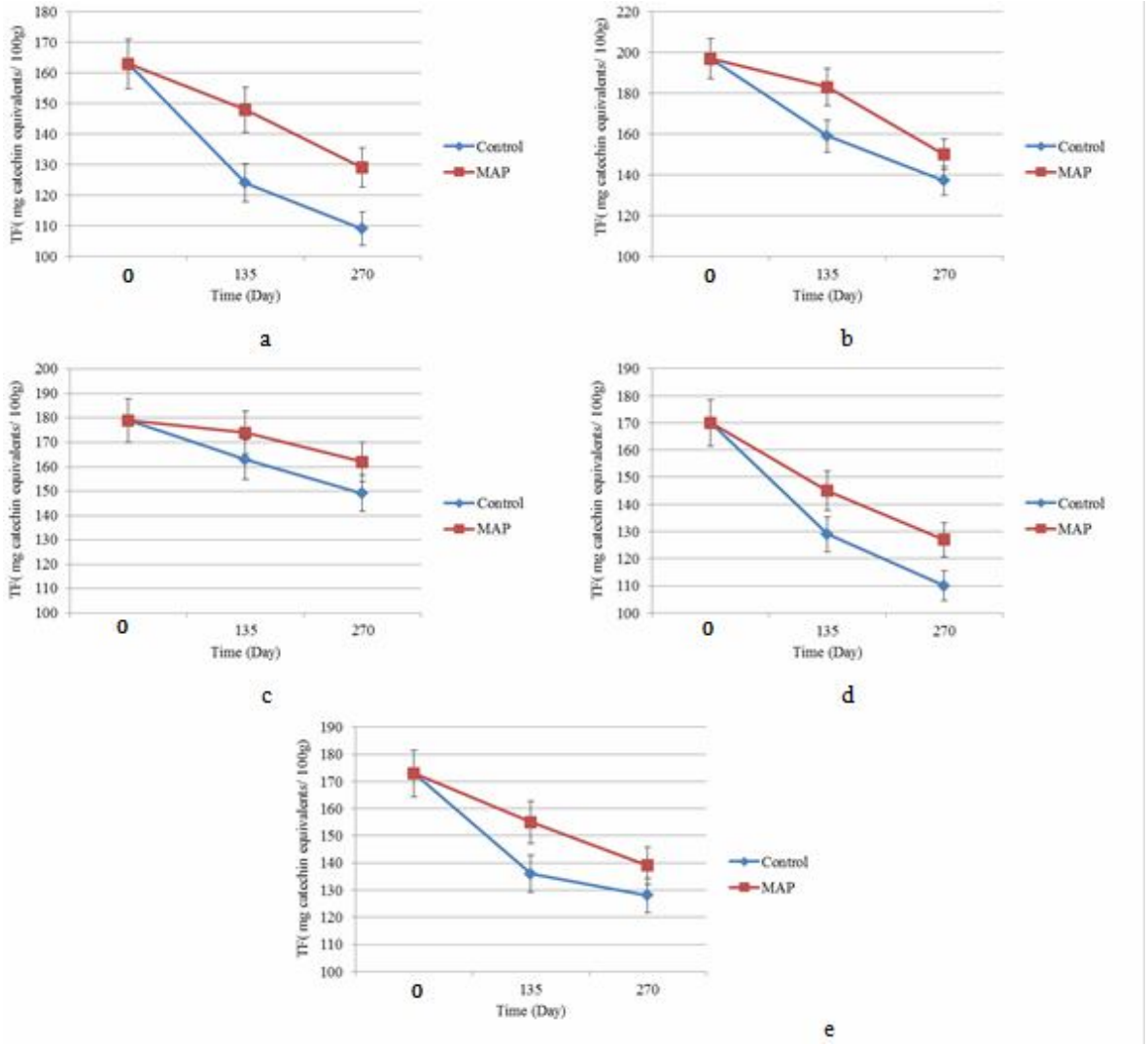

Fig 5 Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on total flavonoid content of apple powder during storage: (a) oven drying, (b) freeze drying, (c) spray drying, (d) foam mat drying, (e) microwave drying.

۴- نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش تأثیرروش‌های مختلف خشک‌کردن بر رطوبت، فعالیت آبی، ویتامین ث، ترکیبات فنلی کل، آنتوسیانین کل و ترکیبات فلاونوئیدی پودر سیب مورد ارزیابی قرار گرفتند. بالاترین میزانASA، TA و TP مربوط به پودرهای تولیدی با روش خشک‌کن انجمادی و پس‌ازآنخشک‌کن پاششی می‌باشد. تشکیل لایه محافظ اطراف ترکیبات زیست فعال سیب در روش خشک‌کردن پاششی، منجر به پایداری این ترکیبات حساس در طی فرایند و حتی در طول انبارمانی شد. خشک‌کنانجمادی به دلیل استفاده از دمای پایین کمترین تأثیر مخرب را بر رنگ سیب داشت. استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر تغییر داده‌شده حاوی ۱۰۰٪ نیتروژن سبب کاهش معنی‌دار میزان تخریب ASA، TF و TP نسبت به اتمسفر معمولی طی ۲۷۰ روز انبارمانی شد. کوتاه‌ترین زمان فرایند مربوط به

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

روش خشک‌کردن پاششی بوده و نظر به نتایج مطلوب به‌دست‌آمده از ارزیابی شاخص‌های کیفی پودر سیب، می‌توان گفت مناسب‌ترین روش برای تولید پودر سیب در مقیاس نیمه‌صنعتی و صنعتی، روش خشک‌کردن پاششی می‌باشد. از طرفی روش خشک‌کردن کف‌پوشی به‌عنوان یک روش فرآوری و خشک‌کردن آب‌میوه‌ها و کنسانتره‌ها می‌تواند دارای منافع اقتصادی بیشتری در مقایسه با دیگر روش‌های معمول خشک‌کردن باشد. سرعت خشک شدن در این فرایند به دلیل سطح زیاد تماس با هوای گرم، نسبتاً بالا است که حذف سریع رطوبت را تضمین می‌کند. محصولات خشک‌شده به روش کف‌پوشی دارای ویژگی‌های بازسازی و بازجذب رطوبت بهتری به دلیل ساختار بازخود هستند و از کیفیت عملیاتی خوبی برخوردارند. از سوی دیگر، در خصوص خشک‌کردن قطعات سیب، با توجه به طولانی بودن و هزینه‌های بالای روش خشک‌کردن انجمادی، می‌توان گفت تولید سیب خشک با این روش بازده اقتصادی مناسبی نداشته و می‌توان روش مایکروویو را با در نظر گرفتن شاخص‌های کیفی، مناسب‌ترین روش معرفی نمود.

۵- منابع

[1] Li, H., Huang, J., Wang, Y., Wang, X., Ren, Y., Yue, T., Wang, Z. and Gao, Z., 2021. Study on the nutritional characteristics and antioxidant activity of dealcoholized sequentially fermented apple juice with *Saccharomyces cerevisiae* and *Lactobacillus plantarum* fermentation. *Food Chemistry*, *363*, p.130351.

[2] Horuz, E., Bozkurt, H., Karataş, H. and Maskan, M., 2018. Simultaneous application of microwave energy and hot air to whole drying process of apple slices: drying kinetics, modeling, temperature profile and energy aspect. *Heat and Mass Transfer*, *54*(2), pp.425-436.

[3] Santacatalina, J.V., Contreras, M., Simal, S., Cárcel, J.A. and Garcia-Perez, J.V., 2016. Impact of applied ultrasonic power on the low temperature drying of apple. *Ultrasonics sonochemistry*, *28*, pp.100-109.

[4] Francini, A., Romeo, S., Cifelli, M., Gori, D., Domenici, V. and Sebastiani, L., 2017. 1H NMR and PCA-based analysis revealed variety dependent changes in phenolic contents of apple fruit after drying. *Food chemistry*, *221*, pp.1206-1213.

[5] Al Juhaimi, F., Uslu, N., Bozkurt, D., Ghafoor, K., Babiker, E.E. and Özcan, M.M., 2016. Effects of oven and microwave drying on phenolic contents and antioxidant activities in four apple cultivars. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, *8*(1), pp.51-55.

[6] Pasban, A., Sadrnia, H., Mohebbi, M. and Shahidi, S.A., 2017. Spectral method for simulating 3D heat and mass transfer during drying of apple slices. *Journal of Food Engineering*, *212*, pp.201-212.

[7] Pasban, A., Mohebbi, M., Sadrnia, H. and Shahidi, S.A., 2019. Numerical solution of mass transfer process during drying of apple slices using pseudospectral method. *Journal of Agricultural Machinery*, *9*(1), pp.113-122.

[8] Michalska, A. and Lech, K., 2018. The effect of carrier quantity and drying method on the physical properties of apple juice powders. *Beverages*, *4*(1), p.2.

[9] Rajoriya, D., Shewale, S.R., Bhavya, M.L. and Hebbar, H.U., 2020. Far infrared assisted refractance window drying of apple slices: Comparative study on flavour, nutrient retention and drying characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *66*, p.102530.

[10] Khodifad, B.C. and Kumar, N., 2020. Foaming properties of custard apple pulp and mathematical modelling of foam mat drying. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(2), pp.526-536.

[11] Roshani, S., Ghorbani-HasanSaraei, A. and Raeisi, S.N., 2021. Phytochemical content, physicochemical and microstructural properties of apple powder as affected by drying method. *Latin American Applied Research-An international journal*, *51*(1), pp.27-35.

[12] Hamzeh, S., Motamedzadegan, A., Shahidi, S.A., Ahmadi, M. and Regenstein, J.M., 2019. Effects of drying condition on physico-chemical properties of foam-mat dried shrimp powder. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *28*(7), pp.794-805.

[13] MaghsoudlouKamali, D., Esmaeili, G., Shahidi, S.A. and MaghsoudlouKamali, D., 2021. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of beetroot (Beta

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

vulgaris) drying. *Food Science and Technology*, *18*(114), pp.263-275.

[14] Bou-Maroun, E., Loupiac, C., Loison, A., Rollin, B., Cayot, P., Cayot, N., Marquez, E. and Medina, A.L., 2013. Impact of preparation process on the protein structure and on the volatile compounds in Eiseniafoetida protein powders. *Food and Nutrition Sciences*, *4*(11), p.1175.

[15] Fu, Q.Q., Ge, Q.F., Liu, R., Wang, H.O., Zhou, G.H. and Zhang, W.G., 2017. Influence of modified atmosphere packaging on protein oxidation, calpain activation and desmin degradation of beef muscles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *97*(13), pp.4508-4514.

[16] Saleh, I. and Al-Thani, R., 2019. Fungal food spoilage of supermarkets' displayed fruits. *Veterinary World*, *12*(11), p.1877.

[17] Hamzeh, S., Motamedzadegan, A., Shahidi, S.A., Ahmadi, M. and Regenstein, J., 2019. Experimental study on foam mat drying of shrimp meat and evaluation of thin-layer drying models. *Food Science and Technology*, *16*(92), pp.73-87.

[18] Ranđelović, D., Lazić, V., Tepić, A. and Mošić, I., 2014. The influence of packaging materials protective properties and applying modified atmosphere on packed dried apricot quality changes. *Hemijskaindustrija*, *68*(3), pp.289-295.

[19] Miranda, G., Berna, A. and Mulet, A., 2019. Dried-Fruit storage: An analysis of package headspace atmosphere changes. *Foods*, *8*(2), p.56.

[20] Fu, M., Xiao, G., Wu, J., Chen, Y., Yu, Y., Chen, W. and Xu, Y., 2017. Effects of modified atmosphere packaging on the quality of dried lemon slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*(4), p.e13043.

[21] Feng, H., Tang, J. and Cavalieri, R.P., 1999. Combined microwave and spouted bed drying of diced apples: effect of drying conditions on drying kinetics and product temperature. *Drying technology*, *17*(10), pp.1981-1998.

[22] Bouayed, J., Hoffmann, L. and Bohn, T., 2011. Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food chemistry*, *128*(1), pp.14-21.

[23] Duan, X., Ding, L., Ren, G.Y., Liu, L.L. and Kong, Q.Z., 2013. The drying strategy of atmospheric freeze drying apple cubes based on glass transition. *Food and Bioproducts Processing*, *91*(4), pp.534-538.

[24] Caparino, O.A., Tang, J., Nindo, C.I., Sablani, S.S., Powers, J.R. and Fellman, J.K., 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao'var.) powder. *Journal of food engineering*, *111*(1), pp.135-148.

[25] Ando, Y., Hagiwara, S., Nabetani, H., Sotome, I., Okunishi, T., Okadome, H., Orikasa, T. and Tagawa, A., 2019. Effects of prefreezing on the drying characteristics, structural formation and mechanical properties of microwave-vacuum dried apple. *Journal of Food Engineering*, *244*, pp.170-177.

[26] Moreira, G.E.G., Costa, M.G.M., de Souza, A.C.R., de Brito, E.S., de Medeiros, M.D.F.D. and de Azeredo, H.M., 2009. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT-Food Science and Technology*, *42*(2), pp.641-645.

[27] Fennema, O.R., Damodaran, S. and Parkin, K.L., 2017. Introduction to food chemistry. In *Fennema's food chemistry* (pp. 1-16). CRC Press.

[28] Antal, T. and Kerekes, B., 2016. Investigation of hot air‐and infrared‐assisted freeze‐drying of apple. *Journal of Food Processing and Preservation*, *40*(2), pp.257-269.

[29] Antal, T., Kerekes, B., Sikolya, L. and Tarek, M., 2015. Quality and Drying Characteristics of Apple Cubes Subjected to Combined Drying (FD Pre‐Drying and HAD Finish‐Drying). *Journal of Food Processing and Preservation*, *39*(6), pp.994-1005.

[30] Lavelli, V. and Vantaggi, C., 2009. Rate of antioxidant degradation and color variations in dehydrated apples as related to water activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, *57*(11), pp.4733-4738.

[31] Cuccurullo, G., Giordano, L., Metallo, A. and Cinquanta, L., 2018. Drying rate control in microwave assisted processing of

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

sliced apples. *Biosystems Engineering*, *170*, pp.24-30.

[32] Rajabi, H., Ghorbani, M., Jafari, S.M., Mahoonak, A.S. and Rajabzadeh, G., 2015. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food hydrocolloids*, *51*, pp.327-337.

[33] Huang, L.L., Zhang, M., Mujumdar, A.S. and Lim, R.X., 2011. Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips. *Journal of Food Engineering*, *103*(3), pp.279-284.

[34] Yan, H. and Kerr, W.L., 2013. Total phenolics content, anthocyanins, and dietary fiber content of apple pomace powders produced by vacuum‐belt drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*(6), pp.1499-1504.

[35] Wolfe, K.L. and Liu, R.H., 2003. Apple peels as a value-added food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(6), pp.1676-1683.

[36] Alfaro, S., Mutis, A., Quiroz, A., Seguel, I. and Scheuermann, E., 2014. Effects of drying techniques on murtilla fruit polyphenols and antioxidant activity. *Journal of Food Research*, *3*(5), p.73.

[37] Sultana, B., Anwar, F., Ashraf, M. and Saari, N., 2012. Effect of drying techniques on the total phenolic contents and antioxidant activity of selected fruits. *Journal of Medicinal Plants Research*, *6*(1), pp.161-167.

[38] MohdZainol, M.K., Abdul-Hamid, A., Abu Bakar, F. and Pak Dek, S., 2009. Effect of different drying methods on the degradation of selected flavonoids in Centellaasiatica. *International Food Research Journal*, *16*(4), pp.531-537.

[39] Schulze, B. and Schubert, U.S., 2014. Beyond click chemistry–supramolecular interactions of 1, 2, 3-triazoles. *Chemical Society Reviews*, *43*(8), pp.2522-2571.

[40] Peleg, M., Normand, M.D., Dixon, W.R. and Goulette, T.R., 2018. Modeling the degradation kinetics of ascorbic acid. *Critical reviews in food science and nutrition*, *58*(9), pp.1478-1494.

[41] Singh, N., Kaur, M. and Sandhu, K.S., 2005. Physicochemical and functional properties of freeze-dried and oven dried corn gluten meals. *Drying technology*, *23*(4), pp.975-988.

[42] Tsantili, E., Konstantinidis, K., Christopoulos, M.V. and Roussos, P.A., 2011. Total phenolics and flavonoids and total antioxidant capacity in pistachio (Pistachiavera L.) nuts in relation to cultivars and storage conditions. *ScientiaHorticulturae*, *129*(4), pp.694-701.

[43] Sharma, R., Joshi, V.K. and Kaushal, M., 2015. Effect of pre-treatments and drying methods on quality attributes of sweet bell-pepper (Capsicum annum) powder. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(6), pp.3433-3439.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]
[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Effect of modified atmosphere packaging on some physicochemical properties of apple powder produced by different drying methods

Roshani, Sh. [1], Shahidi, S. A. [2], Ghorbani-HasanSaraei, A. [3*], Naghizadeh, Sh, [4].

1. Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Amol, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Amol, Iran.
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Amol, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Amol, Iran.

ABSTRACT

In this study, some physicochemical properties of apple powder produced by different drying methods were evaluated. In order to investigate the storage effect on the nutritional properties of apple powders, the samples were packed in a modified atmosphere and examined at intervals of 135 and 270 days. Apple slices were dried by freeze drying, microwave and oven drying methods as well as apple juice by spraying and foam mat drying methods. The results showed that the highest levels of vitamin C (ASA), flavonoid compounds (TF) and phenolic compounds (TP) were related to powders produced by freezing and spray drying, respectively. Minimal color changes compared to fresh samples were observed in powders produced with freeze and then microwave dryers. Packaging in the modified atmosphere resulted in a significant reduction in the degradation of ASA, TF and TP compared to the normal atmosphere during 270 days of storage. The results showed that the drying method had a significant effect on the properties of apple powder and among the studied methods, freeze-dried and sprayed drying were suitable for drying apples sliced and its juice, respectively.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 01/ 20
Accepted 2022/ 02/ 27

Keywords:

Freeze drying,
Modified Atmosphere Packaging,
Nutritional properties,
Spray drying.

DOI: 10.52547/fsct.19.124.217

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1

*Corresponding Author E-Mail:
azade380@yahoo.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1]

[DOI: 10.52547/fsct.19.124.217]