



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

شیوا روشنی<sup>۱</sup>، سید احمد شهیدی<sup>۲</sup>، آزاده قربانی حسن سرایی<sup>۳\*</sup>، شهرام نقی زاده رئیسی<sup>۴</sup>

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

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

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

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

### اطلاعات مقاله

### چکیده

#### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

#### کلمات کلیدی:

بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده، خشک‌کردن انجمادی، خشک‌کردن پاششی، ویژگی‌های تغذیه‌ای.

در این پژوهش برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر سیب تولید شده با روش‌های مختلف خشک‌کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور 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، میکروویو 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 پس‌از آن پاششی بود. کمترین تغییرات رنگ نسبت به نمونه تازه در پودرهای تولیدی با خشک‌کن انجمادی و پس از آن میکروویو 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.

DOI: 10.52547/fsct.19.124.217

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.24.1

\* مسئول مکاتبات:

azade380@yahoo.com

## ۱- مقدمه

طراحی یک تحقیق جامع است که در آن متداول‌ترین روش‌های خشک‌کردن مورد ارزیابی قرار گرفته 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 [۱۴]. 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 جدیدترین روش‌های 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 قابل توجه 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 به مراتب کمتر است اما بازم این محصولات در معرض فساد هستند [۱۶ و ۱۷]. استفاده از فناوری اتمسفر تغییر داده شده در مورد میوه‌های خشک بسیار محدود بوده و تنها چند کار پژوهشی محدود انجام شده است. راندلوویچ و همکاران [۱۸] تأثیر استفاده از اتمسفر تغییر داده شده و جنس فیلم بسته‌بندی را بر ماندگاری زردآلوی خشک شده در دماهای ۱۷-۲۲ درجه سلسیوس ارزیابی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از اتمسفر تغییر داده شده به طور معنی‌داری سبب حفظ کیفیت زردآلوی خشک شده در طی زمان می‌شود. میراندا

سیب (*Malus domestica*) دارای طعمی منحصربه‌فرد و حاوی ترکیبات تغذیه‌ای ارزشمند از جمله 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 به دلیل 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 نه تنها ویژگی‌های فناوریانه محصول از جمله میزان ماندگاری افزایش و 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 [۴]، مایکروویو [۵]، مایکروویو-هوای داغ [۲]، آون [۵-۷]، خشک‌کردن انجمادی [۸]، تحت خلأ [۸]، فرورسرخ [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 از جمله 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

## ۲-۲-۱- خشک کردن

در خصوص خشک کردن سیب به صورت قطعه، به روش زیر عمل شد: خشک کردن آون (*OVD*) استفاده از آون ممرد (آلمان) در دمای ۸۵ درجه سلسیوس به مدت ۴ 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 ۴۵۰ وات به مدت ۴۰ دقیقه انجام شد. خشک کردن انجمادی (*FZD*) با استفاده از خشک کن انجمادی اپرون (کره جنوبی) به مدت ۴۸ ساعت (۸۶- 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 ( $8-4^{\circ}\text{C}$ ) نگهداری گردید.

در خصوص خشک کردن آب سیب، به صورت زیر عمل شد: در خشک کردن پاششی (*SPD*)، ابتدا آب سیب (بریکس  $13/2 \pm 0/2$ ) با مالتودکسترین با نسبت ۱ به ۳ (نسبت ماده جامد محلول سیب به مالتودکسترین) مخلوط شده و هموژنیزاسیون ( $10000\text{rpm}$ ، ۱ دقیقه) انجام شد. سپس مخلوط به خشک کن پاششی بوخی (سوئیس) منتقل گردیده و تحت شرایط عملیاتی شامل دمای هوای ورودی  $175 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ، دمای هوای خروجی  $95 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ، دبی هوا  $600\text{ l/h}$ ، شدت جریان پمپ پرستالتیک ۴ میلی‌لیتر بر دقیقه و فشار نازل  $20\text{ psi}$  خشک گردید. در مورد خشک کردن کف پوشی (*FMD*<sup>۱</sup>)، میزان بهینه از صمغ گزانتان و *WPC*<sup>۲</sup> به عنوان ترکیبات کف‌زا با در نظر گرفتن پایداری کف و همچنین شرایط فرآیند خشک کردن شامل ضخامت کف و دمای خشک کردن در آزمایش‌های اولیه تعیین گردید. بدین ترتیب این آب سیب با ۰/۱۵٪ (وزنی/وزنی) صمغ گزانتان و ۰/۵٪ (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 ۴ میلی‌متر روی یک پلیت آلومینیومی پهن شده و در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس خشک گردید. نمونه‌های پودر سیب حاصل از هر روش در

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 اتمسفر تغییر 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 خشک کردن 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 دلشز (*Golden Delicious*) از بازار محلی در شهرستان بابل تهیه شده و از لحاظ اندازه و شکل دسته‌بندی شدند و تا مرحله بعد در یخچال ( $8-4^{\circ}\text{C}$ ) نگهداری گردیدند. کسانتره پروتئینی آب پنیر (*WPC*) از شرکت اگری-مارک (آمریکا) تهیه گردید. مالتودکسترین با معادل دکستروز ۱۹-۱۶/۵، 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 خشک کردن انجمادی، آون و مایکروویو، سیب‌ها با دست پوست‌گیری شده و با ابعاد مشخص (قطر ۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۱ میلی‌متر) برش زده شدند. به منظور جلوگیری از بروز واکنش‌های مخرب، بلافاصله آنزیم‌بری با آب داغ (۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ دقیقه) انجام شد [۱۱]. در مورد روش‌های خشک کردن پاششی و خشک کردن کف‌پوشی، سیب‌ها پس از پوست‌گیری با استفاده از دستگاه آبمیوه گیری برقی (پارس خزر)، آبگیری شده و سپس با سرعت ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند.

1. Foam Mat Drying  
2. Whey Protein Concentrate

## ۴-۴-۲-۴-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲

### ۴-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲

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

### ۴-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲

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 به صورت میلی‌گرم معادل گالیک اسید در صد گرم ( $mg\ GAE/100g$ ) گزارش گردید.

### ۴-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲-۴-۲

برای اندازه‌گیری محتوای ویتامین ث نمونه‌های پودر سیب از روش تیتراسیون ۲,۶-دی کلروفنل-ایندوفنل استفاده شده و میزان آن به صورت میلی‌گرم به ازای هر صد گرم ماده خشک محصول گزارش گردید [۲۳].

## ۴-۵-۲-۴-۵-۲-۴-۵-۲-۴-۵-۲-۴-۵-۲-۴-۵-۲

### کیفی پودر سیب

پودرهای سیب تولید شده با روش‌های مختلف، پس از بسته‌بندی (معمولی و تغییر داده شده) در محلی به دور از نور و در دمای اتاق ( $25 \pm 1^{\circ}C$ ) نگهداری شد و در بازه‌های زمانی مشخص، نمونه برداری از آنها انجام شده و آنالیزهای مربوطه روی هر نمونه صورت گرفت.

### ۴-۶-۲-۴-۶-۲-۴-۶-۲-۴-۶-۲-۴-۶-۲-۴-۶-۲-۴-۶-۲-۴-۶-۲-۴-۶-۲-۴-۶-۲

برای بررسی اختلاف آماری بین داده‌ها، از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (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.

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

### ۴-۲-۲-۴-۲-۲-۴-۲-۲-۴-۲-۲-۴-۲-۲-۴-۲-۲-۴-۲-۲-۴-۲-۲-۴-۲-۲-۴-۲-۲

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.

## ۴-۳-۲-۴-۳-۲-۴-۳-۲-۴-۳-۲-۴-۳-۲-۴-۳-۲-۴-۳-۲-۴-۳-۲-۴-۳-۲-۴-۳-۲

۴-۳-۲-۱- محتوای رطوبت ( $Mc$ ) و فعالیت آبی ( $aw$ )  
محتوای رطوبت با استفاده از روش خشک کردن در آون تحت خلأ (واکیوم، 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].

۴-۳-۲-۲- رنگ

برای بررسی رنگ نمونه‌های خشک شده از کالری متر (*HunterLabColorflex, Reston, VA, USA*) استفاده شد. برای سیب تازه، از قسمت‌های مختلف برش به صورت تصادفی اندازه‌گیری صورت گرفت. برش‌های خشک شده 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 ایجاد شده از نمونه سیب تازه ( $\Delta E$ ) در طول فرآیند خشک کردن، 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 خشک شده،  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  به ترتیب نشان دهنده روشنایی، قرمزی و زردی است. بافت سیب تازه به عنوان مرجع مورد استفاده قرار گرفت. افزایش مقدار  $\Delta E$  نشان دهنده بیشتر بودن تغییرات رنگی بین نمونه مرجع و نمونه خشک شده می‌باشد [۲۱].

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- رطوبت و فعالیت آبی

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 آن 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 سبب در محدوده ۰/۳۴۷-۰/۲۳۰ بود (جدول ۱). بالاترین و پایین‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به پودر سبب تولید شده با خشک‌کن کف‌پوشی و میکروویو بود. می‌توان دلیل پایین بودن میزان این شاخص در پودرهای سبب 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.

رطوبت نمونه‌های پودر سبب تولید شده با روش‌های مختلف خشک‌کردن در محدوده ۵/۱۲-۳/۴۷٪ 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 آن بود. نتایج مشابهی به وسیله کاپارینو و همکاران [۲۴] در مورد خشک‌کردن انبه با روش‌های مختلف گزارش گردیده است. درصد رطوبت نهایی در پودرهای تولید شده با میکروویو به‌طور معنی‌داری کمتر از خشک‌کن انجمادی، پاششی و کف‌پوشی بود. آندو و همکاران [۲۵] اعلام نمودند تابش میکروویو به دلیل توانایی در نفوذ به داخل ماده و متعاقباً عمل‌شان بر مولکول‌های آب به‌صورت اختصاصی سبب افزایش حذف آب شده و در نتیجه می‌توان به سطوح پایینی از رطوبت دست پیدا کرد. در خصوص نمونه‌های پودر تولید شده از آب سبب، 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 [۲۶] گزارش نمودند نوع ماده‌ای که تحت عنوان ماده کمکی در فرآیند خشک‌کردن آب‌میوه‌مورد استفاده قرار می‌گیرد، تأثیر به‌سزایی بر رطوبت نهایی پودر میوه دارد. در

**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 <sup>c</sup> | 0.259 ± 0.005 <sup>d</sup> |
| Oven drying (OVN)      | 5.12 ± 0.09 <sup>a</sup> | 0.330 ± 0.003 <sup>b</sup> |
| Spray drying (SPD)     | 4.58 ± 0.04 <sup>b</sup> | 0.317 ± 0.009 <sup>c</sup> |
| Foam mat drying (FMD)  | 4.39 ± 0.11 <sup>c</sup> | 0.230 ± 0.002 <sup>e</sup> |
| Microwave drying (MWD) | 3.66 ± 0.08 <sup>d</sup> | 0.347 ± 0.004 <sup>a</sup> |

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

## ۳-۲- رنگ

کف‌پوشی و پاششی مشاهده شد. نتایج مشابهی به‌وسیله الجوهیمی و همکاران [۵] در خصوص خشک‌کردن برش‌های سیب با روش‌های میکروویو و آن 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،

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 میکروویو و پایین‌ترین مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب در نمونه‌های تولیدی با روش‌های خشک‌کردن

به نمونه شاهد شده می‌گردد به طوری که 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،  $\Delta E$  نیز به مانند شاخص‌های رنگی، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش خشک‌کردن قرار گرفته است به طوری 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*                        | $\Delta E$                |
|------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Freeze drying    | 84.23 ± 0.01 <sup>b</sup> | 1.64 ± 0.03 <sup>d</sup> | 20.29 ± 0.02 <sup>b</sup> | 6.05 ± 0.79 <sup>e</sup>  |
| Oven drying      | 81.10 ± 0.03 <sup>c</sup> | 3.01 ± 0.02 <sup>b</sup> | 24.53 ± 0.12 <sup>a</sup> | 8.94 ± 1.24 <sup>c</sup>  |
| Spray drying     | 86.05 ± 0.07 <sup>a</sup> | 0.94 ± 0.02 <sup>e</sup> | 14.07 ± 0.01 <sup>c</sup> | 9.78 ± 1.08 <sup>b</sup>  |
| Foam mat drying  | 72.83 ± 0.01 <sup>e</sup> | 7.13 ± 0.04 <sup>a</sup> | 25.18 ± 0.05 <sup>a</sup> | 13.39 ± 1.84 <sup>a</sup> |
| Microwave drying | 80.08 ± 0.04 <sup>d</sup> | 2.02 ± 0.02 <sup>c</sup> | 25.26 ± 0.01 <sup>a</sup> | 7.08 ± 0.93 <sup>d</sup>  |

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

مقدار ویتامین ث در نمونه‌های پودر سیب از ۶۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک برای نمونه تولیدی با روش خشک‌کردن آون تا  $87 \text{ mg}/100 \text{ g DM}$  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 میکروویو را نیز می‌توان در نتیجه کوتاه بودن زمان خشک‌کردن دانست. نتایج مشابهی به‌وسیله هوانگ و همکاران [۳۳] گزارش شده است.

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 طلائی 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

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 از آنجاکه فرآیند خشک‌کردن انجمادی در دمای بسیار پایین انجام می‌شود، لذا میزان صدمه و تخریب رنگی‌ها به حداقل رسیده و محصول نهایی دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مشابه با نمونه تازه است. همچنین میزان  $\Delta E$  در مورد نمونه‌های خشک‌شده با میکروویو به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از انواع تولیدی با روش‌های کف‌پوشی، خشک‌کن پاششی و آون بود. کوکوروو و همکاران [۳۱] گزارش نمودند در روش خشک‌کردن با میکروویو، میزان پدیده گرم شدن بیش‌ازحد سطحی<sup>۳</sup> به حداقل رسیده و در نتیجه میزان تغییرات رنگی کاهش می‌یابد. همچنین در مورد نمونه‌هایی که با استفاده از خشک‌کردن آب سیب تولید شده‌اند، نظر به استفاده از مواد کمکی در روش خشک‌کردن کف‌پوشی و پاششی، روند تغییرات  $\Delta E$  مشابه با شاخص‌های رنگی و مقادیر بیشینه یا کمینه را تجربه کرد [۱۲].

### ۳-۳- ویتامین ث

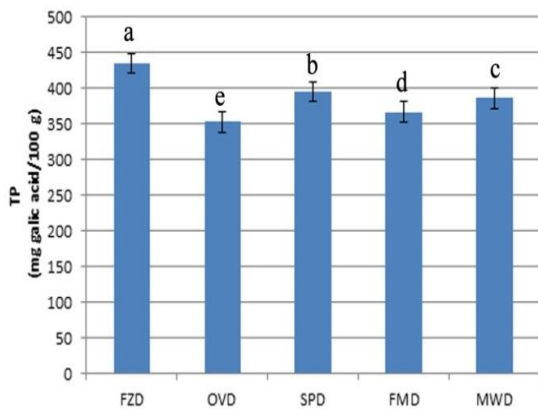
#### 3. Surface overheating

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

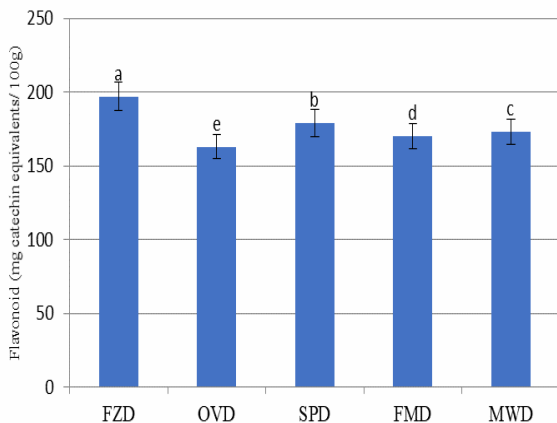
| Drying method | Freeze drying       | Oven drying         | Spray drying        | Foam mat drying     | Microwave drying    |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| mg/100g       | 87 ± 2 <sup>a</sup> | 61 ± 1 <sup>c</sup> | 77 ± 1 <sup>b</sup> | 67 ± 3 <sup>d</sup> | 75 ± 1 <sup>c</sup> |

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

مهدزینل و همکاران [۳۸] گزارش نمودند با افزایش دما در فرآیند خشک کردن میوه، میزان تخریب ترکیبات فلاونوئیدی به طور معنی داری کاهش پیدا می کند. این محققین اعلام نمودند بالاترین میزان تخریب ترکیبات فنلی مربوط به نمونه های خشک شده با روش آون و کمترین مقدار مربوط به روش خشک کردن انجمادی می باشد. شولز و شوبرت [۳۹] نیز گزارش نمودند نوع روش خشک کردن سبب تأثیر معنی داری بر محتوای فلاونوئیدی آن دارد بطوریکه نمونه های خشک شده با روش انجمادی دارای بالاترین سطح از ترکیبات فلاونوئیدی بوده و پس از آن نمونه های 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

### ۳-۴- محتوای فنل کل

ترکیبات فنلی به عنوان ترکیباتی حساس به حرارت شناخته می شوند به خصوص فنل هایی که به صورت باند نشده و در سیستم های با رطوبت بالا هستند [۳۴]. تغییرات میزان ترکیبات فنل کل در محدوده  $353 \text{ GAE}/100\text{g}$  میلی گرم در  $100$  گرم برای نمونه های خشک شده با آون تا  $435 \text{ GAE}/100\text{g}$  برای نمونه های خشک شده با خشک کن انجمادی متغیر بود (شکل ۱). به طور کلی، با افزایش دما و زمان خشک کردن، میزان تخریب این ترکیبات در محصول نهایی افزایش پیدا کرد. نتایج مشابهی به وسیله ولف و لیو [۳۵] در خصوص خشک کردن پوست سیب گزارش شد که اعلام نمودند میزان تخریب ترکیبات فنلی سیب مانند سایر ترکیبات زیست فعالش به طور معنی داری متأثر از روش خشک کردن می باشد. این محققین اعلام کردند میزان ترکیبات فنلی در نمونه های تولیدی با روش خشک کن انجمادی از لحاظ آماری اختلافی با نمونه تازه ندارد. فرانچینی و همکاران [۴] به نتایج مشابهی در خصوص محتوای فنل کل پودر سیب دست یافتند. یک روند کلی در خصوص وابستگی حرارتی ترکیبات فنلی میوه های مختلف مبتنی بر افزایش سطح تخریب با افزایش دما به وسیله محققین مختلف گزارش شده است [۳۶ و ۳۷].

### ۳-۵- محتوای فلاونوئید کل

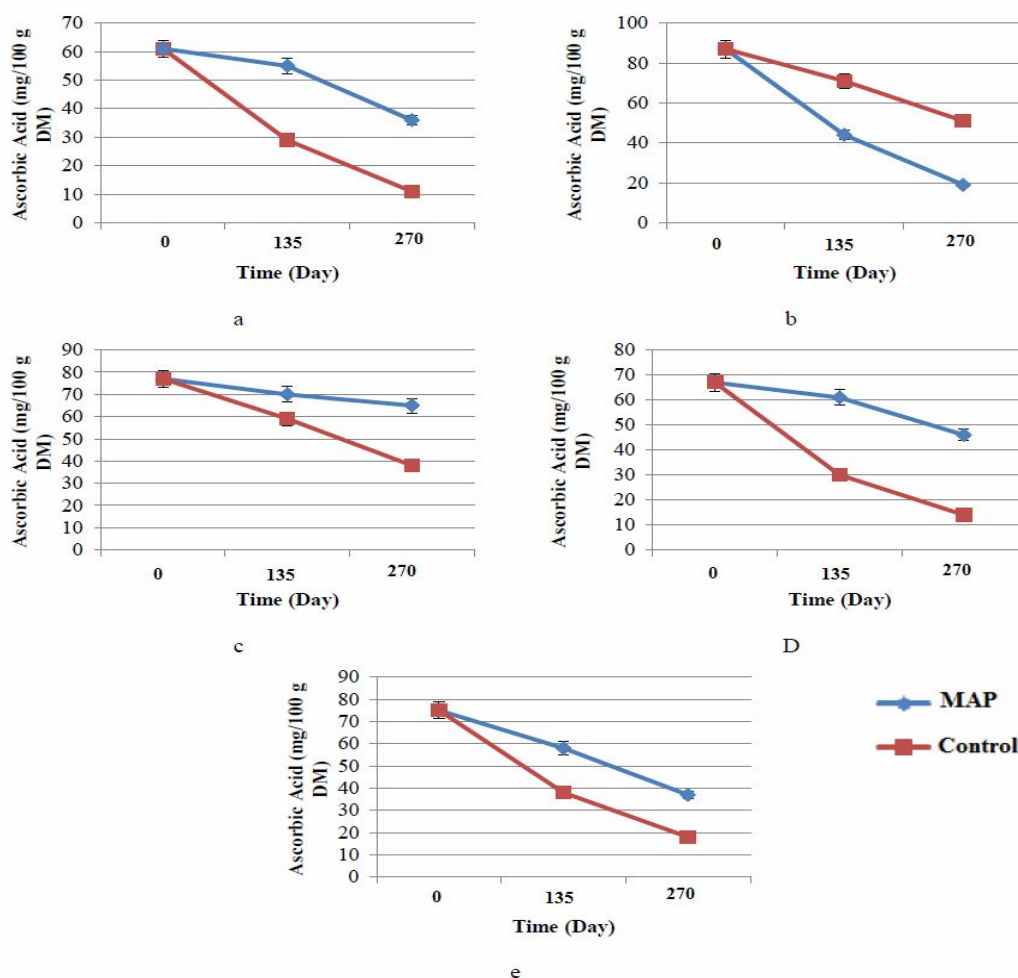
تأثیر دمای خشک کردن بر ترکیبات فلاونوئیدی سیب، دارای روندی مشابه با ترکیبات فنلی بود بطوریکه با افزایش دمای فرآیند، میزان تخریب به طور معنی داری افزایش پیدا کرد (شکل ۲). بالاترین میزان ترکیبات فلاونوئیدی در نمونه های خشک شده با روش انجمادی ( $197 \text{ mg catechin equivalents}/100\text{g}$ ) و پایین ترین مقدار آن، در نمونه های تولیدی با آون ( $163 \text{ mg catechin equivalents}/100\text{g}$ ) مشاهده شد. در خصوص پودر سیب تولیدی با خشک کن پاششی، وجود مکانیسم محافظت کنندگی ترکیبات دیواره ای، منجر به حفظ ترکیبات فلاونوئیدی شده است.

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 [۴۱]. 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].

### ۳-۶- تأثیر انبارمانی بر ویژگی‌های پودر سیب

#### ۳-۶-۱- ویتامین ث

ویتامین ث به‌عنوان یکی از ترکیبات حساس در مقابل گرما در نظر گرفته‌شده و به‌آسانی در تماس با حرارت از بین می‌رود [۴۰]. از این رو بررسی مقدار آن در محصولات فرآوری شده نه تنها از نظر تغذیه‌ای حائز اهمیت است، بلکه می‌تواند به‌عنوان شاخصی از کیفیت فناورانه روش خشک‌کردن در نظر گرفته شود. تغییر در میزان ویتامین‌ث در طول ۲۷۰ روزنگهداری در دمای محیط در هر دو نوع بسته‌بندی (عادی و تغییر داده‌شده) 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



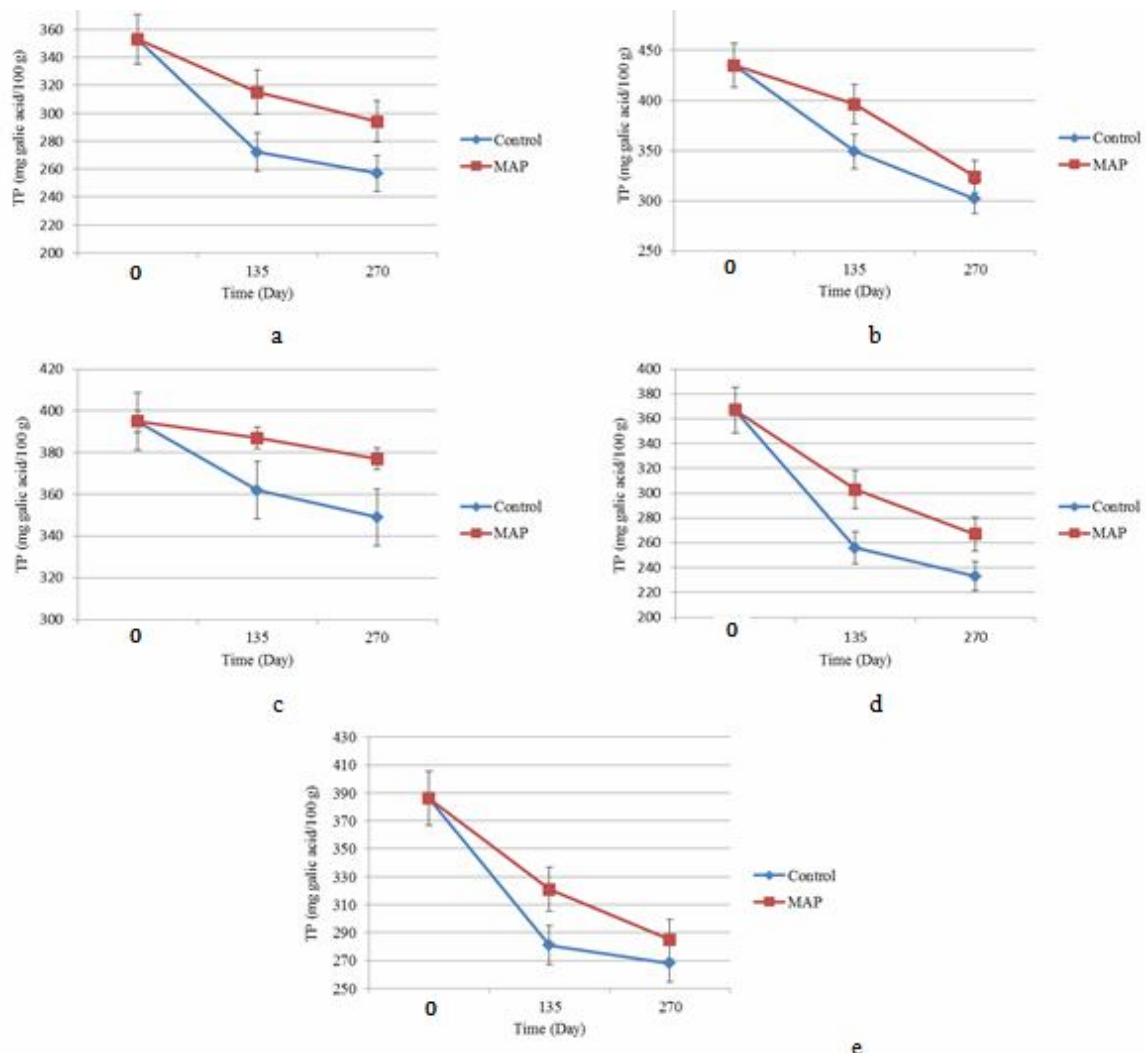
**Fig 3** Effect of modified atmosphere packaging (MAP) on Vitamin C (ASA) content of apple powder during storage: (a) oven drying, (b) freeze drying, (c) spray drying, (d) foam mat drying, (e) microwave drying.



## ۳-۶-۲- ترکیبات فنلی

استفاده از بسته‌بندی تغییر داده شده تأثیر بسزایی در عمر انبارمانی ترکیبات فنلی داشت (شکل ۴). میزان تخریب این ترکیب فعال در طول ۲۷۰ روزنگهداری، بین ۱۶ تا ۳۶٪ در نمونه‌های بسته‌بندی شده در اتمسفر معمولی و تغییر داده شده متغیر بود. همانند ویتامین ث، میزان تخریب این ترکیب فعال در نمونه‌های بسته‌بندی شده در اتمسفر معمولی همواره بالاتر از نوع بسته‌بندی شده در اتمسفر تغییر داده شده بود. کمترین بیشترین میزان تخریب در نوع بسته‌بندی شده در اتمسفر معمولی و تغییر داده شده، به ترتیب در نمونه‌های تولیدی با

خشک‌کن پاششی و کف‌پوشی بود. نتایج مشابهی به وسیله تسائیلی و همکاران [۴۲] گزارش شد که مدعی شدند میزان تخریب ترکیبات فنلی پسته بسته‌بندی شده 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 خشک شده لیموترش ارائه نمودند به طوری که تخریب حدود ۴۶٪ این ترکیبات در طی ۷ هفته نگهداری در گاز نیتروژن و ۵۵٪ 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.

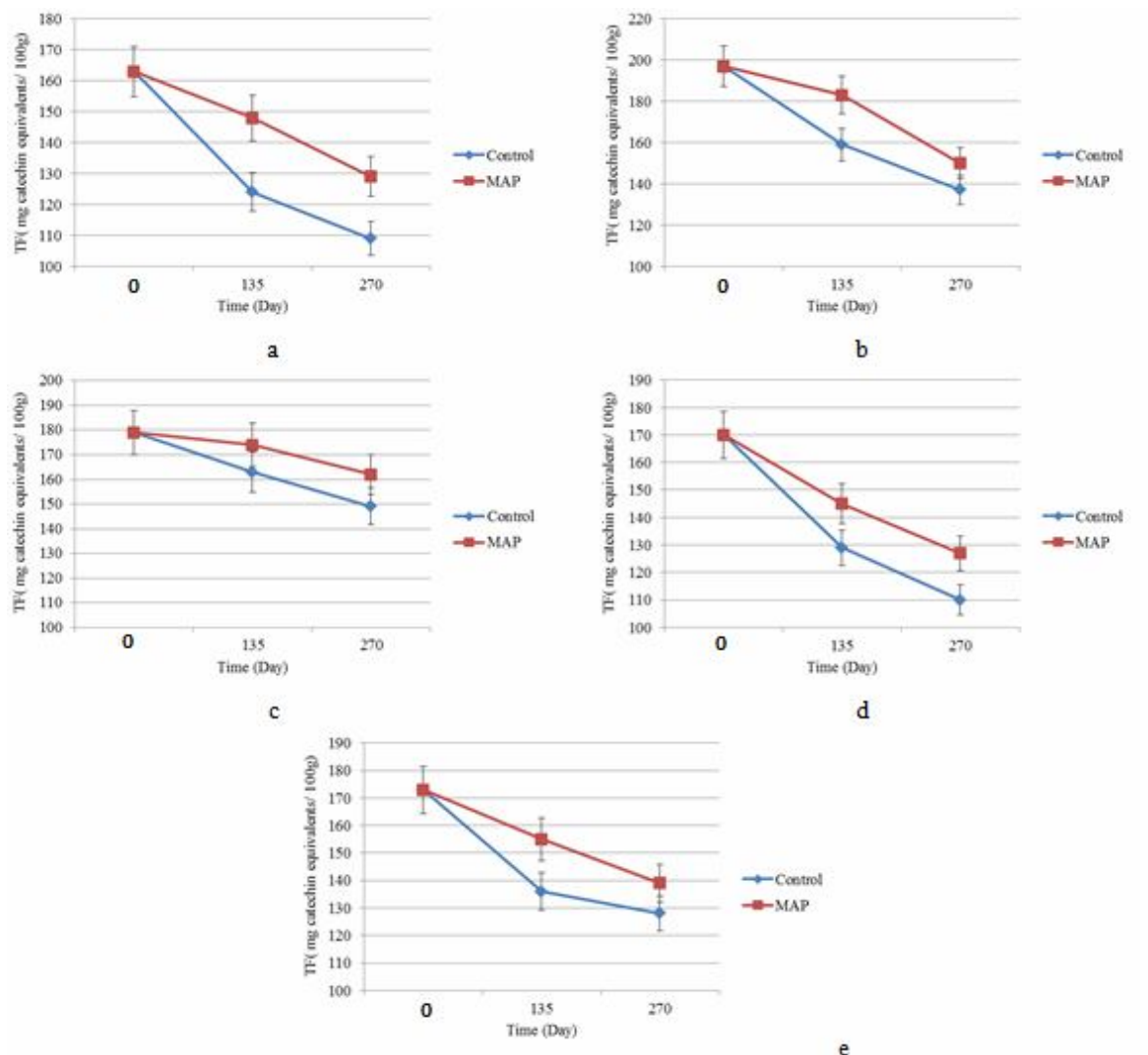
## ۳-۶-۳- ترکیبات فلاونوئیدی

میزان تخریب فلاونوئید کل نمونه‌های مختلف پودر سیب در طی نگهداری بین ۲۳ تا ۴۸٪ و بالاتر از ترکیبات فنلی بود (شکل ۵). دلیل این امر حساسیت بالاتر این ترکیبات می‌باشد.

در بیشتر میوه‌ها و سبزی‌ها، فلاونوئیدها دارای باندهای C- گلیکوزیدی بوده و به‌صورت دایمر یا الیگومر هستند. اعمال حرارت و قرار گرفتن در معرض سایر عوامل از جمله انبارمانی، منجر به هیدرولیز این باندها و شکل‌گیری مونومر می‌شود [۴۳]. از طرف دیگر، روندی مشابه با ترکیبات فنلی در

پاششی و کف پوشی بود. فو همکاران [۲۰] اعلام نمودند بسته بندی در گاز نیتروژن منجر به حفظ ترکیبات فلاونوئیدی برش های خشک شده لیموترش به میزان ۶۰٪ شد در حالی که بسته بندی در اتمسفر معمولی سبب حفظ ۴۰٪ این ترکیبات فراسودمند شد.

خصوص میزان تخریب این ترکیب فعال در نمونه های بسته بندی شده در اتمسفر معمولی مشاهده شد بطوریکه میزان تخریب ترکیبات فلاونوئیدی همواره بالاتر از نوع بسته بندی شده در اتمسفر تغییر داده شده بود. کمترین و بیشترین میزان تخریب در نوع بسته بندی شده در اتمسفر معمولی و تغییر داده شده، به ترتیب در نمونه های تولیدی با خشک کن



**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.

در روش خشک کردن پاششی، منجر به پایداری این ترکیبات حساس در طی فرایند و حتی در طول انبارمانی شد. خشک کنانجمادی به دلیل استفاده از دمای پایین کمترین تأثیر مخرب را بر رنگ سیب داشت. استفاده از بسته بندی با اتمسفر تغییر داده شده حاوی ۱۰۰٪ نیتروژن سبب کاهش معنی دار میزان تخریب ASA، TA و TP نسبت به اتمسفر معمولی طی ۲۷۰ روز انبارمانی شد. کوتاه ترین زمان فرایند مربوط به

#### ۴- نتیجه گیری کلی

در این پژوهش تأثیر روش های مختلف خشک کردن بر رطوبت، فعالیت آبی، ویتامین ث، ترکیبات فنلی کل، آنتوسیانین کل و ترکیبات فلاونوئیدی پودر سیب مورد ارزیابی قرار گرفتند. بالاترین میزان ASA، TA و TP مربوط به پودرهای تولیدی با روش خشک کن انجمادی و پس از آن خشک کن پاششی می باشد. تشکیل لایه محافظ اطراف ترکیبات زیست فعال سیب

- 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., Esmaili, G., Shahidi, S.A. and MaghsoudlouKamali, D., 2021. Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of beetroot (Beta
- روش خشک کردن پاششی بوده و نظر به نتایج مطلوب به دست آمده از ارزیابی شاخص های کیفی پودر سیب، می توان گفت مناسب ترین روش برای تولید پودر سیب در مقیاس نیمه صنعتی و صنعتی، روش خشک کردن پاششی می باشد. از طرفی روش خشک کردن کف پوشی به عنوان یک روش فرآوری و خشک کردن آب میوه ها و کنسانتره ها می تواند دارای منافع اقتصادی بیشتری در مقایسه با دیگر روش های معمول خشک کردن باشد. سرعت خشک شدن در این فرایند به دلیل سطح زیاد تماس با هوای گرم، نسبتاً بالا است که حذف سریع رطوبت را تضمین می کند. محصولات خشک شده به روش کف پوشی دارای ویژگی های بازسازی و باز جذب رطوبت بهتری به دلیل ساختار باز خود هستند و از کیفیت عملیاتی خوبی برخوردارند. از سوی دیگر، در خصوص خشک کردن قطعات سیب، با توجه به طولانی بودن و هزینه های بالای روش خشک کردن انجمادی، می توان گفت تولید سیب خشک با این روش بازده اقتصادی مناسبی نداشته و می توان روش مایکروویو را با در نظر گرفتن شاخص های کیفی، مناسب ترین 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

- 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 *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] Randelović, 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. *Hemijiskaindustrija*, 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:

- [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 (*Pistachia vera* L.) nuts in relation to cultivars and storage conditions. *Scientia Horticulturae*, 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 annuum*) powder. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), pp.3433-3439.
- 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.



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

Roshani, Sh. <sup>1</sup>, Shahidi, S. A. <sup>2</sup>, Ghorbani-HasanSaraei, A. <sup>3\*</sup>, Naghizadeh, Sh. <sup>4</sup>

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