

## بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر انار تولید شده با روش خشک کردن کف‌پوشی

فخری شهیدی<sup>۱\*</sup>، مهدی وریدی<sup>۱</sup>، محبت محبی<sup>۱</sup>، صفیه خلیلیان<sup>۲</sup>، محمد خلیلیان<sup>۳</sup>

۱- استاد، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی دکتری مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه منابع طبیعی و کشاورزی گرگان

۳- دانشجوی دکتری مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۰۳)

### چکیده

هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان استفاده از روش خشک کردن کف‌پوشی برای تهیه پودر انار با حفظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن بوده است. بنابراین برخی ویژگی‌های پودر انار تولید شده به روش خشک کردن کف‌پوشی، از جمله اندازه ذرات، حلالیت، فعالیت آب، دمای گذار شیشه‌ای، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوی آنتوسیانین کل (TAC) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج آماری حاصل از بررسی داده‌ها نشان داد که دماهای مختلف خشک کردن بر کلیه ویژگی‌های مذکور در سطح آماری ۵ درصد اثر معنی‌دار داشت. توزیع اندازه ذرات پودر حاصل در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد برخلاف پودرهای تولید شده در دماهای ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد، دوگانه بود. حلالیت پودر تولید شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از پودرهای تولید شده در دماهای ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد و دمای گذار شیشه‌ای پودر حاصل در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، بالاتر از سایر دماها گزارش شد که نشان‌دهنده پایداری بیشتر این پودر در مدت زمان انبارمانی می‌باشد. همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودرها با افزایش دمای خشک کردن، افزایش یافت. بیشترین محتوای آنتوسیانین کل در پودرهای تولید شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. با توجه به کارایی بالا، انرژی پایین و حفظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی می‌توان از روش کف‌پوشی برای خشک کردن عصاره انار استفاده نمود.

**کلید واژگان:** پودر انار، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنتوسیانین، حلالیت، اندازه ذرات، خشک کردن کف‌پوشی

## ۱- مقدمه

انار (*Punica granatum L.*) گیاهی متعلق به خانواده پونیکاسه<sup>۱</sup> یکی از قدیمی‌ترین میوه‌هایی است که در مناطق وسیعی از کشورهای گرمسیری تا نیمه گرمسیری کشت می‌شود [۱]. این میوه جزو مهم‌ترین میوه‌های تجاری ایران محسوب می‌گردد، به طوری که میزان تولید انار در جهان در سال ۲۰۰۶ حدود ۱۵۰۰۰۰۰ تن بوده و ایران سهم ۴۷ درصدی را در جهان به خود اختصاص داده است [۲]. انار بومی مناطق شرق ایران تا کوه‌های هیمالیا در شمال هند بوده و یکی از اولین گیاهان اهلی شده‌است. ایران با تولید سالانه ۸۰۰ هزار تن انار، بزرگ‌ترین تولیدکننده انار در دنیا بوده و هندوستان دومین کشور تولیدکننده‌است [۳]. در ایران، شهرستان‌های ساوه، نیریز و فردوس، به ترتیب بزرگ‌ترین تولیدکنندگان انار هستند.

میوه انار حاوی اسیدها، قندها، ویتامین‌ها، پلی‌ساکاریدها، پلی‌فنل‌ها و مواد معدنی مهمی می‌باشد [۴]. میوه‌های قرمز رنگ از جمله انار، انگور، انواع توت‌ها به خاطر مقادیر بالای آنتوسیانین و محتوای آنتی‌اکسیدانی آنها بسیار مورد توجه هستند. تا کنون مطالعات فراوانی در رابطه با فعالیت آنتی‌اکسیدانی انار صورت گرفته است که نشان می‌دهد انار دارای فعالیت آنتی‌اکسیدان بالایی می‌باشد [۵]. برخی محققان اظهار داشته‌اند که آب انار، میزان LDL و HDL را در خون تغییر می‌دهد. همچنین می‌تواند بیماری‌هایی نظیر ناراحتی‌های قلبی، آلزایمر و انواع سرطان را بهبود بخشد [۶ و ۷].

فرایند خشک کردن یکی از بهترین روش‌های نگهداری میوه‌ها از جمله انار می‌باشد. در طی خشک کردن آب از ماده غذایی خارج شده و در نتیجه امکان وقوع واکنش‌های شیمیایی نامطلوب به حداقل رسیده و ماندگاری فراورده افزایش می‌یابد [۸]. به علاوه کاهش نیازهای بسته بندی و کاهش هزینه‌های حمل و نقل از دیگر مزایای فراورده‌های خشک شده می‌باشد. روش‌های زیادی برای خشک کردن مواد غذایی وجود دارد، اما در عین حال کیفیت محصولات خشک شده و کارایی فرایند خشک کردن دارای اهمیت است. خشک کردن کف پوشی<sup>۲</sup> از جمله روش‌های

خشک کردن مواد غذایی می‌باشد که در آن امکان خشک کردن ماده غذایی در دمای پایین‌تر و مدت زمان کمتر وجود دارد. ساختار متخلخل کف خشک شده، سبب بهبود ویژگی‌های پودر نظیر افزایش سرعت جذب آب و انحلال در این روش می‌گردد [۹].

تهیه کف پایدار با دانسیته مطلوب و پایداری بالا از مهم‌ترین عوامل موثر در فرایند خشک کردن کف پوشی و کیفیت پودر نهایی می‌باشد. بنابراین ساختار کف در سرعت انتقال رطوبت از نمونه کف طی فرایند خشک کردن کف پوشی و در نهایت کیفیت پودر نهایی موثر است. کف بهینه شده باید تا یک ساعت پس از تهیه در طی فرایند خشک کردن پایدار باشد. در این حالت می‌توان اظهار داشت پودر تهیه شده به روش خشک کردن کف پوشی دارای کیفیت مطلوبی است [۱۰].

پارامترهای مهم فراورده‌های غذایی پودری که بر کیفیت محصول تاثیر فراوانی دارند شامل محتوی رطوبت، فعالیت آب، زمان انحلال، میزان حلالیت، حفظ ترکیبات مغذی، دانسیته توده، اندازه ذرات، رنگ و دمای گذار شیشه‌ای هستند. این پارامترها تحت تاثیر کیفیت مواد اولیه و شرایط تولید پودر می‌باشند. در طی نگهداری مواد پودری میزان رطوبت، فعالیت آب و دمای گذار شیشه‌ای از اهمیت بالایی برخوردار هستند. حلالیت و حفظ ترکیبات مغذی فراورده‌های پودری در بازسازی پودرها، اندازه ذرات و دانسیته توده آن‌ها بر نحوه بسته بندی و جابجایی این فراورده‌ها بسیار حایز اهمیت می‌باشد [۱۱ و ۱۲].

امروزه انواع مختلفی از پایدارکننده‌ها جهت ایجاد کف پایدار به فراورده‌های غذایی اضافه می‌شوند. خشک کردن کف پوشی از روش‌های خشک کردن مواد غذایی مایع، کنسانتره و پوره مانند می‌باشد که در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. این روش اولین بار در سال ۱۹۵۹ توسط مورگان به عنوان روشی جهت خشک کردن مواد غذایی مایع یا شبه مایع به صورت یک لایه نازک کف توسط جریان هوای داغ، با قابلیت تولید محصول نهایی با ویژگی‌های کیفی مطلوب ولی ارزان قیمت‌تر از روش‌های خشک کردن تحت خلا، پاششی و انجمادی معرفی گردید. در این روش، ابتدا ماده غذایی مایع یا شبه مایع با افزودن ترکیبات کف زا و پایدارکننده کف و سپس

1. Punicaceae  
2. Foam mat drying

## ۲-۲- تعیین اندازه ذرات

از روش پراکندگی دینامیکی نور (DLS) برای اندازه گیری اندازه ذرات نمونه‌های پودر انار استفاده شد. به این ترتیب مقدار مشخصی از پودر انار در ایزوپروپانول ۹۹ درصد ریخته و یکنواخت گردید سپس توسط دستگاه آنالیز اندازه ذرات (Mastersizer S, model MAM 5005, Malvern Instruments, Malvern, UK) اندازه ذرات نمونه های پودر انار محاسبه شد. هر یک از اندازه گیری ها حداقل سه مرتبه تکرار گردید [۱۴].

## ۲-۳- اندازه گیری حلالیت

حلالیت نمونه های پودر انار طبق روش ایستمن و مور (۱۹۸۴) با کمی تغییرات اندازه گیری شد [۱۵]. ابتدا ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر را درون ظرف مخلوط کن ریخته، یک گرم نمونه پودر انار (ماده خشک نمونه پودر) به آن اضافه شد. به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه مخلوط گردید. محلول در لوله سانتریفیوژ منتقل و به مدت ۵ دقیقه با ۳۰۰۰g سانتریفیوژ شد. ۲۵ میلی لیتر از سوپرناتانت به پلیت شیشه ای منتقل و در آن ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت قرار گرفت. در صد حلالیت از اختلاف وزن محاسبه گردید.

## ۲-۴- اندازه گیری فعالیت آب

در این پژوهش جهت اندازه گیری میزان فعالیت آبی نمونه ها از دستگاه اندازه گیری فعالیت آبی (Rotronic-Hygrolab) استفاده شد [۱۶].

## ۲-۵- اندازه گیری دمای گذار شیشه‌ای

دمای گذار شیشه‌ای با استفاده از دستگاه گرماسنجی روبشی تفاضلی (DSC) (TA Instrument, Metler, Germany) طبق روش فضائی و همکاران (۲۰۱۲) با کمی تغییر اندازه گیری شد. از گاز نیتروژن با فلوی ثابت ۳۰ میلی لیتر بر دقیقه استفاده گردید. نمونه‌ها به میزان ۲ تا ۴ گرم در پلیت‌های آلومینیومی توزین و تا دمای ۲۵- درجه سانتی گراد سرد شدند و دمای گذار شیشه‌ای در محدوده دمایی ۵۰- تا ۲۰۰ درجه سانتی گراد با سرعت حرارت‌دهی ۱۰ °C/min انجام پذیرفت [۱۷].

فرایند ایجاد کف، به صورت کف نسبتاً پایداری متناسب با زمان فرایند خشک کردن درآمده و سپس خشک می‌شود [۱۳]. تولید پودر با حلالیت مطلوب و حفظ میزان آنتوسیانین‌ها و ظرفیت آنتی اکسیدانی بالا به ویژه در رابطه با میوه‌ها و سبزی‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش بررسی امکان تولید پودر انار با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی مناسب با استفاده از روش خشک کردن کف پوشی که روشی ساده و ارزان قیمت می باشد، بوده است.

## ۲- مواد روش‌ها

### ۲-۱- مواد اولیه و تولید

کنسنتره انار از کارخانه رضوی مشهد (بریکس ۶۵) تهیه شد. مالتودکسترین با  $DE=20$ ، صمغ عربی از شرکت سیگما و تخم مرغ (برای تهیه سفیده تخم مرغ) از یکی از بازارهای سطح شهر مشهد خریداری گردیدند. تهیه کف بدین صورت بود که ابتدا طی یک سری تولیدهای اولیه و پیش تست (بریکس‌های مختلف، غلظت‌های مختلف صمغ عربی، مالتودکسترین و سفیده تخم مرغ) با هدف رسیدن به فرمولاسیون کفی که پایداری کافی داشته باشد و این امکان را فراهم کند که تا زمان ریختن درون پلیت و انتقال به درون خشک کن ساختار کف حفظ گردد، صورت پذیرفت. بر اساس نتایج اولیه کف بصورت ذیل تولید گردید:

ابتدا با اضافه کردن آب به کنسنتره، بریکس به ۱۶ رسید. بعد از تهیه محلول صمغ عربی ۰/۴ درصد (به مدت ۱۸ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد)، سایر مواد فرمولاسیون کف (از جمله مالتودکسترین ۶ درصد، سفیده تخم مرغ ۱/۵ و کنسنتره انار) اضافه گردید و به مدت زمان ۴/۵ دقیقه، توسط همزن خانگی سانی (مدل SM88) با ماکزیمم دور (۱۵۰۰ دور در دقیقه) هم زده شد. در این حالت دانسیته و مقدار مایع جدا شده طی یک ساعت، به ترتیب ۰/۳ گرم بر میلی لیتر و ۲۰ میلی لیتر بود که به ضخامت ۳ میلی متر درون پلیت‌هایی از جنس آلومینیوم ریخته و در خشک‌کن با هوای داغ در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی-گراد خشک شدند.

## ۲-۶- اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

۲،۲- دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل<sup>۳</sup> به میزان ۲/۵ میلی گرم در ۵ میلی لیتر متانول حل گردید. این محلول به صورت روزانه تهیه و در مکان تاریک در دمای اتاق نگهداری شد. ۲۵ میلی گرم آلفا توکوفرول در ۱۰۰ میلی لیتر متانول حل و از این محلول برای رسم منحنی کالیبراسیون احیا DPPH استفاده گردید، برای تهیه عصاره متانولیکی از روش باندونین و همکاران (۲۰۰۲) با اندکی تغییر استفاده شد [۱۸]. مقدار مشخصی از پودر انار در ۱۰ میلی لیتر متانول حل شده، توسط هوموژنایزر (IKA-Labortechnik, Staufen, Germany) به مدت یک دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه هوموژن گردید. سپس محلول حاصل سپس سانتریفیوژ (۲۰ دقیقه، ۴۰۰۰ دور بر دقیقه) شد. سوپرناتانت جدا گردید و برای تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مورد استفاده قرار گرفت. روش اندازه‌گیری بدین صورت بود که ۶۰۰ میکرولیتر از محلول با ۶۰۰ میلی‌لیتر محلول DPPH آماده شده مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در مکان تاریک قرار گرفت. سپس میزان جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. همه اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار انجام شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر حسب معادل آلفاتوکوفرول با استفاده از منحنی کالیبراسیون محاسبه گردید:

$$AC\% = \left[ 1 - \left( \frac{A_{\text{نمونه}}(517\text{nm})}{A_{\text{محل}}(517\text{nm})} \right) \right] \times 100$$

مقادیر جذب برای شاهد و نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد.

## ۲-۷- اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین کل (TAC)

مقدار کل آنتوسیانین نمونه‌ها (TAC) با استفاده از روش افتراقی pH با دو سیستم بافر اندازه‌گیری شد. بافرهای کلرور پتاسیم با pH = ۱ (۰/۲۵ M) و بافر استات سدیم با pH = ۴/۵ (۰/۴ M) مورد استفاده قرار گرفتند. برای این منظور ۲ گرم از پودر مورد نظر در ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل و سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با ۴۰۰۰ rpm سانتریفیوژ (Sigma-)

(Laborzentrifugen, Germany) شدند. یک میلی لیتر از نمونه‌ها با ۲۴ میلی لیتر از بافرها مخلوط شدند و سپس در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر در مقابل آب به عنوان شاهد، مقدار جذب توسط نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (RAYLEIGH.UV-2601) قرائت گردید.

$$A = (A_{510} - A_{700}) \text{pH}_{1.0} - (A_{510} - A_{700}) \text{pH}_{4.5}$$

مقدار کل آنتوسیانین هر نمونه (mg cyaniding-3-glucoside /100 ml) با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$TAC = \frac{A \times MW \times DF \times 100}{MA}$$

که MW، وزن مولکولی سیانیدین ۳- گلوکوسید (۴۴۹۲)، DF فاکتور رقیق سازی (۲۵) و MA ضریب خاموشی مولی سیانیدین ۳- گلوکوسید (۲۶۹۰۰) می‌باشد [۱۹ و ۲۰].

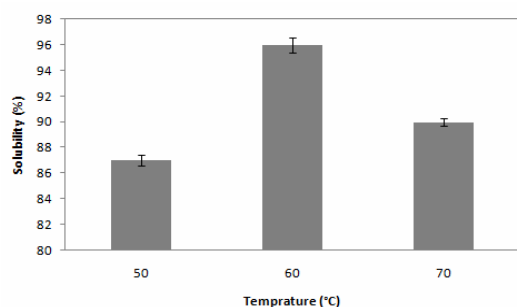
## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- اندازه ذرات پودر انار

شکل ۱ و ۲، توزیع اندازه ذرات پودرهای تولید شده انار به روش کف‌پوشی در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود دو پیک در هر توزیع وجود دارد که این حاکی از وجود دو نوع ذرات می‌باشد. مجموعه ذرات کوچک‌تر که معمولاً بین ذرات بزرگ‌تر واقع می‌شوند و زمینه را برای کلوخه شدن پودر فراهم می‌کنند که این حالت به خصوص زمانی که از دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد جهت خشک کردن کف‌ها استفاده شده بود مشاهده می‌گردد. حداکثر اندازه ذرات تولید شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد ۱۰ میکرومتر بود، در حالی که در دمای ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد حداکثر اندازه یک میکرومتر مشاهده شد. در مقایسه با روش خشک کردن پاششی، تونوس و همکاران (۲۰۰۸) پودر آکائی را با استفاده از روش خشک کردن پاششی تولید نمودند که اندازه قطر ذرات ۱۰ میکرومتر به دست آمد [۲۱]. فراری و همکاران

3. 2,2- Diphenyl 1- picrylhydrazyl (DPPH)

نیز حلالیت پودر تولید شده در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد از پودر تولید شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بوده است. میزان حلالیت پودرهای غذایی به عوامل متعددی از جمله ترکیبات اولیه نمونه، اجزای فرمولاسیون، روش و شرایط تولید و توزیع اندازه ذرات پودر حاصل، ارتباط دارد [۲۴]. همان‌طور که در شکل ۱ و ۲، مشاهده می‌شود توزیع اندازه ذرات در پودر تولید شده در دماهای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با پودرهای تولید شده در دماهای ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد متفاوت بوده که این خود نیز می‌تواند یکی از دلایل موثر بر تفاوت حلالیت پودرهای انار تولید شده در دماهای مختلف خشک کردن باشد. در مقایسه با روش خشک‌کردن کف‌پوشی با روش خشک‌کن پاششی، بیشترین حلالیت (۹۶ درصد) در روش خشک کردن کف‌پوشی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، بود (شکل ۳) در حالی که یوسفی و همکاران (۲۰۰۹) برای پودر انار تولید شده با روش خشک‌کن پاششی در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد، ۶۸/۸ درصد حلالیت را گزارش کردند [۲۵].

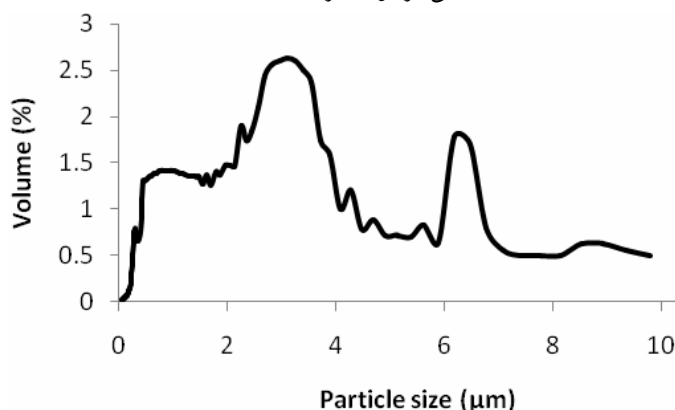


**Fig 3** Effect of foam mat drying at different temperatures on solubility of pomegranate powder.

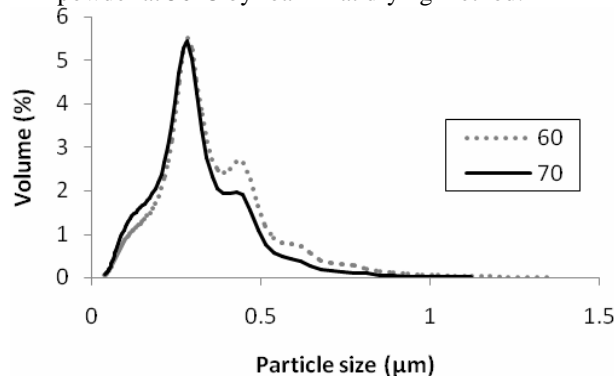
### ۳-۳- دمای گذار شیشه‌ای

پودرها نسبت به دماها و رطوبت شرایط نگهداری بسیار حساس بوده و ساختار آنها می‌تواند از حالت شیشه‌ای به لاستیکی تغییر کند که این تغییر در دمای گذار شیشه‌ای ( $T_g$ ) رخ می‌دهد [۲۶]. میزان این تغییرات بستگی به تغییرات فیزیکی و شیمیایی که طی فرآوری ماده غذایی و انبارمانی صورت می‌گیرد، دارد. روس و کالر (۱۹۹۱) طی پژوهشی نشان دادند که بین دمای گذار شیشه‌ای و کلوخه‌ای شدن و چسبندگی پودرهای غذایی ارتباط مستقیمی وجود دارد [۲۷]. نتایج حاصل از اندازه‌گیری دمای گذار شیشه‌ای دو پودر تولید شده در دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد

(۲۰۱۲) پودر توت سیاه را با استفاده از خشک‌کن پاششی با اندازه ذرات ۱۳ میلی‌متر تولید کردند [۲۲].



**Fig 1** Particle size distribution of pomegranate powder at 50°C by foam mat drying method.

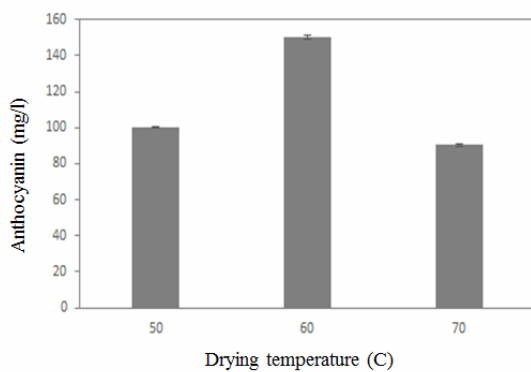


**Fig 2** Particle size distribution of pomegranate powder at 60°C by foam mat drying method.

### ۳-۲- حلالیت

حلالیت یکی از پارامترهای مهم جهت ارزیابی کیفیت پودرهای غذایی می‌باشد. بنا بر اظهارات چن و پتل (۲۰۰۸)، حلالیت یک پارامتر کلیدی در تعیین کیفیت بازسازی پودرهای غذایی تولید شده با روش‌های مختلف است [۲۳]. نتایج آنالیز واریانس اثر دماهای خشک کردن بر میزان حلالیت پودر انار نشان داد که دمای خشک کردن به طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر میزان حلالیت پودرهای حاصل موثر است. در شکل ۳، حلالیت پودرهای انار تولید شده در دماهای مختلف خشک کردن به روش کف‌پوشی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد حلالیت پودر انار تولید شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دو دمای دیگر ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر بوده و

درجه سانتی‌گراد) آنتوسیانین کمتری داشت که این به علت تخریب میزان بیشتر این رنگدانه می‌باشد. به علاوه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به علت توزیع اندازه ذرات دوگانه و وقوع کلوخه‌ای شدن، میزان آنتوسیانین‌ها مقادیر کمتری را نسبت به محتوی آنتوسیانین پودر تولیدی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد. یوسفی و همکاران (۲۰۰۹) میزان آنتوسیانین کل پودر انار تولید شده با روش خشک‌کن پاششی در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد را  $62/9 \text{ mg/l}$  گزارش کردند [۲۵] در صورتی که در روش خشک کردن کف‌پوششی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، میزان آنتوسیانین کل  $150 \text{ mg/l}$  حاصل شد.



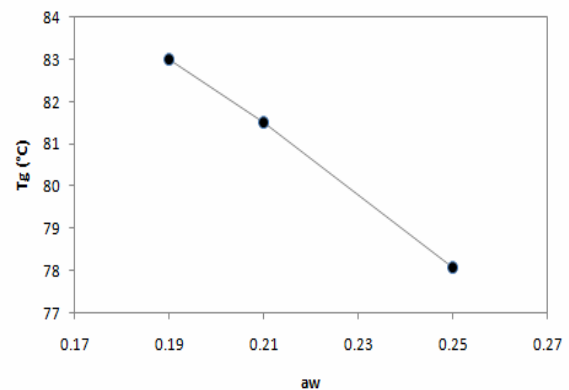
**Fig 5** Effect of drying different temperatures on total anthocyanin of pomegranate powder.

### ۳-۵- فعالیت آنتی‌اکسیدان

انار حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنولی با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که می‌تواند نقش مهمی بر سلامت مصرف‌کنندگان از طریق غیرفعال‌سازی رادیکال‌های آزاد داشته باشد. نتایج آنالیز واریانس اثر دماهای خشک کردن بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های پودر انار تولیدی نشان داد که نمونه پودرهای حاصل از لحاظ میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با هم اختلاف معنی‌دار دارند ( $p < 0/05$ ). همان‌طور که در شکل ۶، مشاهده می‌گردد با افزایش دمای خشک کردن از ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی روند افزایشی داشته است. تزکان و همکاران (۲۰۰۹) نیز در پژوهشی در رابطه با بررسی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آب انار با آب انار تیمار شده با دماهای

به ترتیب ۷۹/۹۷، ۸۱/۵۲ و ۸۳ درجه سانتی‌گراد بود که این دماها در واقع میزان پایداری پودرها طی تولید به ویژه حین انبارمانی را نشان می‌دهد. بنابراین پودر تولید شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد مقاومت بهتری نسبت به پودر تولید شده در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد دارد.

گین‌فرانسیسکو و همکاران (۲۰۱۰) دماهای گذارشیشه‌ای پودرهای مالتودکسترین تولید شده در دماهای مختلف خشک‌کن پاششی را به عنوان تابعی از فعالیت آب مورد بررسی قرار دادند. آنها مشاهده کردند که با افزایش فعالیت آب، دماهای گذارشیشه‌ای روند کاهشی را نشان داد [۲۸]. شکل ۷، تغییرات دماهای گذارشیشه‌ای پودر انار خشک شده به روش کف‌پوشی را همزمان با تغییرات فعالیت آب نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد افزایش فعالیت آب نمونه پودرها باعث کاهش دمای گذارشیشه‌ای آنها می‌گردد.



**Fig 4** Glass transition temperatures of pomegranate powder as function of water activity.

### ۳-۴- میزان آنتوسیانین

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر دما بر محتوی آنتوسیانین پودرهای تولید شده در دماهای مختلف در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. غلظت آنتوسیانین در آب انار بازسازی شده از پودرهای تولید شده در دماهای مختلف در شکل ۵، مشاهده می‌گردد. تغییر در میزان آنتوسیانین نمونه پودرهای مختلف مربوط به دماهای خشک کردن و رفتار خشک شدن آنها طی فرایند خشک شدن می‌باشد. پودر تولیدی به دلیل ریز بودن ذرات و افزایش سطح تماس ساختار پودر با اکسیژن بیشتر در دمای بالاتر (۷۰

خشک شده، سبب جذب سریع تر آب و افزایش سرعت انحلال فرآورده حاصل می‌شود. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش دما ارتباط مستقیم نشان داد و همچنین دمای گذارشیشه‌ای با فعالیت آب رابطه مستقیم و روند کاهشی نشان داد. با توجه به کارایی این روش در خشک کردن مواد غذایی با غلظت بالا و تولید محصول با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مناسب و مصرف انرژی پایین، می‌توان از این روش برای تولید صنعتی پودرهای غذایی استفاده نمود.

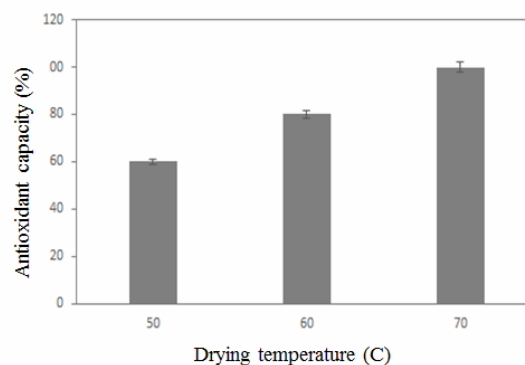
## ۵- تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی شماره یک با کد ۱۶۳۱۵ استخراج گردیده است. از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی تقدیر و تشکر می‌گردد.

## ۶- منابع

- [1] Salaheddin M.E., & Kader, A.A., (1984). Post-harvest physiology and storage behaviour of pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae*, 24, 287-298.
- [2] Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z. & Mousavi, S., (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). *Journal of Food Science and Technology*, 48, 677-684.
- [3] Fadavi, A., (2004). Investigation of physicochemical properties of 25 varieties of pomegranate water in Iran. A thesis of Master of Science in food science and technology, Tarbiat Modares University, agriculture faculty. 96pp. (Translated in Persian).
- [4] Maskan, M., (2006). Production of pomegranate (*Punica granatum L.*) juice concentrate by various heating methods: Colour degradation and kinetics. *Journal of Food Engineering*, 72, 218-224.
- [5] Gil, M.I.; Tomas-Berberan, A.; Hess-Pierce, B. Holcroft, D.M. & Kader, A.A., (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of*

مختلف مشاهده کردند که با افزایش دما، فعالیت آنتی‌اکسیدانی آب انار افزایش می‌یابد. آنها دلیل این رفتار را وقوع واکنش‌های مایلارد دانستند که طی این واکنش فرآورده‌هایی با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالا تولید می‌گردد [۲۹]. مشابه همین نتایج را ترکمن و همکاران (۲۰۰۵) در رابطه با تیمارهای حرارتی مختلف فلفل، لوبیاسبز، بروکلی و اسفناج گزارش کردند [۳۰]. هورز و همکاران (۲۰۱۲) درصد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودر انار تولید شده در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد با روش خشک‌کن پاششی را ۵۷/۸ درصد گزارش نمودند [۱۹] در حالی که در روش کف-پوشی، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودر انار حاصل، ۱۰۰ درصد بود.



**Fig 6** Effect of drying different temperatures on anthocyanin capacity of pomegranate powder.

## ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش اثر دماهای مختلف خشک کردن به روش کف-پوشی بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر انار مورد بررسی قرار گرفت. میزان آنتوسیانین کل و حلالیت پودرهای تولید شده در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به سایر دماها بیشتر بود. افزون بر این، در مقایسه با پودرهای اناری که با خشک‌کن پاششی تهیه شده بودند نیز میزان آنتی‌اکسیدان بیشتری داشتند. به دلیل ساختار متخلخل کف، سرعت انتقال جرم و حرارت طی فرایند خشک کردن در روش کف‌پوشی افزایش پیدا کرده، امکان خشک کردن ماده غذایی در دمای پایین‌تر و مدت زمان کمتر در خشک کردن باعث می‌گردد که علاوه بر این، ساختار متخلخل نمونه کف

- Optimization of Carrot–Celery Juice. *Journal of Food Processing and Preservation*. (In press) DOI: 10.1111/jfpp.12598.
- [17] Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 667-675.
- [18] Bandoniene, D. & Murkovic M., (2002). The detection of radical scavenging compounds in crude extract of borage (*Borago officinalis*L.) by using an on-line HPLC-DPPH method. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 53, 45–49.
- [19] Horuz, E., Altan, A. & Maskan, M., (2012). Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Drying Technology*, 30, 787-798.
- [20] Robert, P., Gorená, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J. & Saenz, C., (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 45, 1386-1394.
- [21] Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D., (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88, 411–418.
- [22] Ferrari, C., Germer, S. P. M., Alvim, I. D., Vissotto, F. Z., & Aguirre, J. M., (2012). Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. *International Journal of Food Science & Technology*, 47, 1237–1245.
- [23] Chen, X.D. & Patel, K.C., (2008). Manufacturing better quality food powders from spraydrying and subsequent treatments. *Dry Technology*, 26, 1313–1318.
- [24] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., Kazakis, N.A., (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22, 1129–1151.
- [25] Youssefi, Sh., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M., (2009). Comparison of Artificial Neural Network (ANN) and Response Surface Methodology (RSM) in the *Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4581–4589.
- [6] Aviram, M., Dornfeld, L., Rosenblat, M., Volkova, N., Kaplan, M. & Hayek, T., (2000). Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: studies in humans and in the atherosclerotic apolipoprotein E deficient mice. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 1062–1076.
- [7] Viuda-Mortes, M. Fernandez-Lopez, J. Perez-A & Alvarez, J.A., (2010). Pomegranate and its many functional components as related to human health: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 635–654.
- [8] Barbosa-Canovas, G.V. & VegaMercado, H., (1996). *Dehydration of Foods* (first ed.), (Chapman and Hall, NY, USA)
- [9] Kadam, D. M., Patil, R. T. & Kaushik, P., (2010), *Foam Mat Drying of Fruit and Vegetable Products*. In: Jangam, S. V., Law, C. L. & Mujumdar, A. S (eds) *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, Vol 1, pp 113-124. Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology, Ludhiana, India.
- [10] Ratti, C., & Kudra, T., (2006). Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges. *Journal of Drying Technology*, 24, 1101-1108.
- [11] Ratti, C. & Kudra, T., (2005). Drying of foamed materials: opportunities and challenges. In *Proceedings 11th Polish Drying Symposium*.
- [12] Masuda, H., Higashitani, K., & Yoshida, H., (2006). *Powder Technology Handbook*, Third Edition. CRC Press.
- [13] Lewicki, P. P., (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science and Technology*, 17, 153-163.
- [14] Ferrari, C. C., Germer, S. P. M. & de Aguirre, J. M., (2012). Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. *Drying Technology*, 30(2), 154-163.
- [15] Eastman JE, Moore CO., (1984). Cold-water-soluble granular starch for gelled food compositions. US Patent 4,465–702.
- [16] Khalilian Movahhed, M., Mohebbi, M., (2015). *Spray Drying and Process*



- Simulation of Maltodextrin Solutions Spray Drying to Control Stickiness, *Food and Bioprocess Technology*, 6, 946-955.
- [29] Tezcan, F., Gültekin-Özguven, M., Diken, T., Özcelik, B., & Erim, F.B., (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid, and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry*, 115, 873-877.
- [30] Türkmen N., Sarı F., & Velioglu S., (2005). The Effect of Cooking Methods on Total Phenolics and Antioxidant Activity of Selected Green Vegetables. *Food Chemistry*, 93, 713.
- Prediction of Quality Parameters of Spray-Dried Pomegranate Juice, *Drying Technology*, 27, 910-917.
- [26] Tze, N. L., Han, C. P., Yusof, Y. A., Ling, C. N., Talib, R. A., Taip, F. S., & Aziz, M. G., (2012). Physicochemical and Nutritional Properties of Spray-dried Pitaya Fruit Powder as Natural Colorant, *Food Science and Biotechnology*. 21, 675-682.
- [27] Roos, Y. H. & Karel, M., (1991). Phase transitions of mixtures of amorphous polysaccharides and sugars. *Biotechnology Progress*. 7, 49-53.
- [28] Gianfrancesco, A., Turchiuli, C., Flick, D., & Dumoulin, E., (2010). CFD Modeling and

## Evaluation of physicochemical properties of pomegranate concentrate powder produced by foam mat drying method

Shahidi, F. <sup>1\*</sup>, Varidi, M. <sup>1</sup>, Mohebi, M. <sup>1</sup>, Khaliliyan, S. <sup>2</sup>, Khaliliyan, M. <sup>3</sup>

1. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of agriculture, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran
2. PhD's student, Department of Food Science and Technology, Faculty of agriculture, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. PhD's student, Department of Food Science and Technology, Faculty of agriculture, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran

(Received: 2015/02/01 Accepted: 2016/02/22)

The aim of this study was an evaluation of the possibility of foam mat drying method for preparing of pomegranate powder with maintaining of its physicochemical properties. Then some properties of pomegranate powder produced by foam mat drying such as particle size, solubility, water activity, transition point, antioxidant capacity and total anthocyanin (TAC), were investigated. The statistical results analysis of the data showed that different drying temperatures on all of the properties had a significant effect ( $p < 0.05$ ). Particle size distribution of the powder obtained at 50°C showed a bimodal distribution, unlike powders that produced at temperatures 60 and 70°C. Maximum solubility due to powder that was produced at 60 °C. Glass transition temperature at 70 °C powder was higher than other temperatures that indicating a greater stability of the powder is the storage time. The antioxidant capacity of the powder was increased when the drying temperatures were increased. The maximum and minimum of total anthocyanin content were observed about powder that produced at 70 °C and 60 °C, respectively. The foam mat drying method causes high efficiency, low energy consumption and maintains of physicochemical properties. Then this method of drying propose for the produce of pomegranate powder.

**Key words:** Pomegranate powder, Antioxidant activity, Anthocyanin, Solubility, Particle size, Foam mat drying

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: fshahidi@um.ac.ir