

بررسی ویژگی‌های جریان‌پذیری پودر عصاره سماق ریزپوشانی شده و خشک‌شده به روش پاششی و اثر شرایط مختلف نگهداری آن بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نسرین ملکی‌زاده^۱، سیده‌ادی پیغمبردوست^{۲*}، عارف اولادغفاری^۳، خشایار سرابندی^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد تکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
* نویسنده مسئول (peighambaroust@tabrizu.ac.ir)

۳- عضو هیأت علمی، گروه پژوهشی مواد غذایی، پژوهشکده غذایی و کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران

۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

ایران

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲

واژه‌های کلیدی

خشک‌کردن پاششی

ریزپوشانی

سماق

نگهداری

ویژگی‌ها

هدف از این پژوهش، بررسی اثر شرایط خشک‌کردن پاششی و نیز شرایط نگهداری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی پودر عصاره سماق بوده است. پودر سماق در سه دمای هوای ورودی (۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) و سه غلظت مالتودکسترین (۱۰، ۲۰ و ۳۰ غلظت) و جریان هوای همسو با خوراک ورودی تولید شده است. دانسیته توده و ضربه، زاویه ریپوز، شاخص تراکم‌پذیری و شاخص پیوستگی، میزان رطوبت، ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تعیین گردیده است. پودرها به مدت ۹۰ روز در تاریکی (۶ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و روشنایی (۲۰ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شده‌اند و تغییرات فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها ارزیابی گردیده است. با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین، جریان‌پذیری پودرها افزایش یافته ولی دانسیته توده و ضربه و ترکیبات فنولی کاهش یافته است. دماهای بالاتر و غلظت‌های پایین‌تر مالتودکسترین باعث کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها گردیده است. برای پایداری و یا حتی بهبود ترکیبات فنولی طی دوره‌های نگهداری طولانی‌مدت، نگهداری در شرایط دمای پایین و تاریکی مناسب‌تر است.

مقدمه

ترکیبات فنولی نظیر فلاونوئیدها^۱، تانن‌ها^۲، آنتوسیانین‌ها^۳ و اسیدهای آلی است. این ترکیبات با فعالیت آنتی‌اکسیدانی خود منجر به ایجاد خواص ضدسرطانی در سماق می‌گردند. همچنین مطالعه‌های مختلفی خواص ضد میکروبی و پیشگیری‌کنندگی دیابتی میوه سماق را اثبات نموده‌اند (Giancarlo et al., 2015).

قدمت استفاده از ادویه‌ها و گیاهان به‌عنوان چاشنی جهت ایجاد طعم، بهبود رنگ، بهبود عطر و طعم، همچنین اهداف دارویی و نگهداری مواد غذایی به بیش از ۲۰۰۰ سال می‌رسد (Embuscado, 2015). سماق یکی از ادویه‌هایی است که در رژیم مدیترانه‌ای استفاده فراوانی از آن می‌شود. میوه سماق شامل

¹ Flavonoids

² Tannins

³ Anthocyanins

سانتی‌گراد، مشخص شد که دما به‌طور منفی پایداری آنتوسیانین‌ها و به‌طور مثبت فعالیت آنتی‌اکسیدانی را طی نگهداری تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. Cam و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر شرایط ریزپوشانی بر کیفیت محصول تولیدی فنول‌های تفاله‌انار را بررسی نموده و هیچ اختلاف قابل‌توجه آماری در ترکیبات فنولی ریزکپسول‌ها طی دوره نگهداری ۹۰ روزه در ۴ درجه سانتی‌گراد مشاهده نکردند. براساس اطلاعات بررسی‌شده، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه ارزیابی پایداری ترکیبات بیولوژیکی طی زمان در شرایط نگهداری مختلف بر خواص پودر عصاره سماق در جریان خشک‌کردن پاششی صورت نگرفته است. در این مطالعه پودر عصاره سماق به‌دست‌آمده از نظر دانسیته توده، دانسیته ضربه، زاویه ریپوز، شاخص پیوستگی، شاخص تراکم‌پذیری، مقدار ترکیبات فنولی و نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارزیابی گردید. همچنین پودرها به مدت ۹۰ روز در شرایط مختلف نگهداری شدند و محتوای فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها ارزیابی گردید.

مواد و روش‌ها

مواد خام

میوه‌های تازه سماق از شهرستان هوراند (آذربایجان شرقی) خریداری شدند و بعد از تمیزشدن، در دمای محیط در سایه خشک و آسیاب گردیدند. پریکارپ^۱ خالص میوه‌ها تا زمان انجام آزمایش در محیط خنک نگهداری شد. حامل مورد استفاده در این پژوهش مالتودکسترین (با معادل دکستروز ۱۸، شرکت پوران پودر سپاهان، اصفهان) بود. کربنات سدیم، معرف فولین، گالیک‌اسید، دی‌فنیل‌پیکریل‌هیدرازایل (DPPH)^۲ و متانول از شرکت تترا-کم^۳ خریداری شد.

آماده‌سازی عصاره سماق جهت خشک‌کردن پاششی میوه سماق آسیاب و به نسبت ۱۰ درصد وزنی با آب‌مقطر مخلوط گردیده سپس در بن‌ماری با دمای حدود ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه

al., 2006; Gündüz et al., 2010; Kosar et al., 2007). امروزه افزایش تقاضا برای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طبیعی به‌جای ترکیبات افزودنی سنتزی وجود دارد. روش ریزپوشانی عصاره ادویه‌ها برای حفظ ترکیبات عطر و طعم و همچنین رنگ‌دانه‌ها در ادویه‌ها توسط محققان پیشنهاد شده است (Kanakdande et al., 2007; Krishnan et al., 2005). پایداری ترکیبات غذایی یا افزایش دسترسی زیستی آنها یکی از مهم‌ترین دلایل برای ریزپوشانی ترکیبات فعال است (Desai & Jin Park, 1993; Shahidi & Han, 2005). یکی از روش‌های رایج ریزپوشانی ترکیبات غذایی، خشک‌کردن پاششی است. انتقال، نگهداری و استفاده از ذرات جامد تولیدی در صنایع مختلف شیمیایی، غذایی و به‌ویژه در صنعت داروسازی که نزدیک به ۸۰ درصد محصولات به فرم ذرات جامد و پودری شکل می‌باشند، حائز اهمیت است. از این‌رو، شناسایی برخی از ویژگی‌ها، نظیر جریان‌پذیری پودرها با هدف کنترل بهتر فرایندهای تولید و ممانعت از مشکلاتی نظیر کلوخه‌ای‌شدن، توده‌ای‌شدن و چسبندگی، امری ضروری است (Boonyai et al., 2004). در خشک‌کردن پاششی برای رفع مشکلات چسبندگی و به‌دست‌آوردن پودری با ویژگی‌های قابل‌قبول، ترکیبات غذایی توسط ماده حامل مناسب پوشش داده می‌شوند (Ersus, Goula & Adamopoulos, 2008b). Yurdagel (۲۰۰۷) عصاره هویج سیاه را با مالتودکسترین به روش پاششی خشک نمودند و نشان دادند که ذخیره‌سازی در ۴ درجه سانتی‌گراد نیمه‌عمر رنگدانه‌های آنتوسیانین خشک‌شده به روش پاششی را ۳ برابر نسبت به ذخیره‌سازی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌دهد. نتایج پژوهش Fang و Bhandari (۲۰۱۱) نشان داد که پودرهای توت خشک‌شده به روش پاششی به جهت پایداری پلی‌فنول‌ها بایستی در دماهای کمتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فعالیت آبی ۰/۳۳ نگهداری شوند. در مطالعه Ferrari و همکاران (۲۰۱۳) با هدف ارزیابی ماندگاری آنتوسیانین‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر تمشک به‌دست‌آمده از خشک‌کن پاششی با استفاده از مالتودکسترین و صمغ عربی طی ۵ ماه نگهداری در ۲۵ و ۳۵ درجه

¹ Pericarp

² 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

³ Tetra-Chem

در رابطه (۱)، m: نشان‌دهنده جرم بودر برحسب گرم و v: حجم نمونه برحسب میلی‌لیتر است.

اندازه‌گیری دانسیته ضربه

برای به‌دست‌آوردن دانسیته ضربه، بعد از تعیین دانسیته توده، ضربات مداومی بر استوانه مدرج وارد شد تا زمانی که تغییرات حجم بودر در استوانه متوقف شود. در نهایت نسبت جرم بودر به حجم محاسبه و دانسیته ضربه به‌دست آمد (Goula & Adamopoulos, 2008a).

اندازه‌گیری زاویه ریپوز

۱۰ گرم بودر عصاره سماق توزین و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خارجی ۱۲ میلی‌متر عبور داده شد تا بر یک سطح افقی صاف ریخته‌شده و تشکیل توده گردد. زاویه ریپوز از طریق زاویه تشکیل‌شده به‌وسیله شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید (Bhandari et al., 1998).

اندازه‌گیری شاخص پیوستگی و شاخص تراکم‌پذیری بودر^۲

پیوستگی بودر با نسبت هاسنر^۳ (HR) مطابق رابطه (۲) محاسبه شد. در طبقه‌بندی پیوستگی بودر براساس نسبت هاسنر $HR < 1/2$ نشان‌دهنده پیوستگی کم، $1/4 < HR < 1/2$ نشان‌دهنده پیوستگی متوسط و در پودرهایی با $HR > 2/4$ به معنی پیوستگی زیاد است (Jinapong et al., 2008).

رابطه (۲)

$$HR = TD / BD$$

در رابطه (۲)، HR: نسبت هاسنر، TD: دانسیته حاصل از ضربه و BD: دانسیته توده هستند.

شاخص تراکم‌پذیری را نیز می‌توان با یکی از دو

رابطه (۳ و ۴) محاسبه نمود:

رابطه (۳)

$$CI = \frac{(TD - BD)}{TD} \times 100\%$$

عصاره‌گیری شد. عصاره آبی سماق به‌دست‌آمده که دارای بریکس ۴ بوده است، پس از صاف‌شدن با کمک پارچه صافی، با همزن در نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی - وزنی با حامل مالتودکسترین به‌خوبی مخلوط گشت و محلول خوراک همگنی به‌دست آمد (Azimi et al., 2006).

خشک‌کردن پاششی

در این پژوهش از خشک‌کن پاششی کارگاهی (ساخت شرکت مهام صنعت، نیشابور) استفاده گردید. اتمایزر چرخشی این دستگاه با قطر ۵ سانتی‌متر و قابلیت چرخش توسط کمپرسور هوا، خوراک ورودی را به داخل محفظه خشک‌کن به‌صورت جریان هم‌جهت با هوای داغ، اتمیزه می‌نماید. محفظه خشک‌کن به‌صورت استوانه‌ای، با قسمت تحتانی مخروطی‌شکل با قطر ۱ متر در بخش استوانه‌ای و ارتفاع کل محفظه ۲ متر بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی پرستالتیک^۱ با دبی تغذیه متغیر و ظرفیت حداکثر ۳ لیتر مایع در ساعت با فشار ۱ بار می‌باشد. در تمام آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک و فشار هوای نازل به‌ترتیب در ۱۸۰۰ دور در دقیقه، ۲۰ میلی‌لیتر در دقیقه و $4 \pm 0/1$ بار، ثابت نگاه داشته شد. بودر سماق، در سه دمای هوای ورودی ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تولید شد. دمای هوای خروجی به‌طور میانگین در ۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. در نهایت پودرهای تولیدشده با خشک‌کن پاششی، بلافاصله به ظرف تیره و درب‌دار منتقل و برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند.

اندازه‌گیری دانسیته توده

۲ گرم بودر در یک استوانه مدرج ۱۰ میلی‌لیتری به آرامی ریخته شد و استوانه کمی تکان‌داده‌شده تا سطح بودر داخل استوانه صاف شود. در نهایت دانسیته توده مطابق رابطه (۱) از نسبت جرم بودر به حجم اشغال‌شده در استوانه به‌دست آمد (Goula et al., 2004).

رابطه (۱)

$$f = m/v$$

^۲ Cohesiveness

^۳ Hausner ratio

^۱ Peristaltic

اندازه‌گیری جذب در ۷۶۵ نانومتر رسم شد. محتوای فنول کل براساس میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم پودر عصاره سماق و به‌صورت میانگین در سه تکرار گزارش گردید.

کارایی ریزپوشانی

بازده ریزپوشانی به‌صورت میزان ترکیبات فنلی پودر بر میزان ترکیب فنلی مخلوط خام اولیه محاسبه گردید.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

توانایی بازدارندگی رادیکال‌های آزاد براساس روش Brand-Williams و همکاران (۱۹۹۵) با اندکی تغییر تعیین گردید. محلول متانولی DPPH (۰/۰۲۵) گرم DPPH در ۱ لیتر متانول) به‌صورت روزانه تهیه و داخل ظرف تیره نگهداری شد. ۱ گرم پودر در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر کاملاً مخلوط‌شده و به ۰/۱ میلی‌لیتر محلول فوق، ۳/۹ میلی‌لیتر از محلول متانولی DPPH افزوده شد. سپس کاملاً هم‌زده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی نگهداری شد. درنهایت جذب در ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر قرائت شد (Brand-Williams et al., 1995). درصد بازدارندگی از رابطه (۶) محاسبه گردید:

رابطه (۶)

$$\%Inhibition = 1 - (A_{Sample}/A_{Control})$$

در رابطه (۶)، A_{Sample} : نشان‌دهنده جذب نمونه و $A_{Control}$ نشان‌دهنده جذب کنترل (نمونه فاقد سماق) است.

آزمون‌های نگهداری طی زمان

پودرهای عصاره سماق به مدت ۹۰ روز در سه شرایط نگهداری؛ تاریکی ۶ درجه سانتی‌گراد، تاریکی ۲۰ درجه سانتی‌گراد و روشنایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در انتهای روز ۹۰، ترکیبات فنول کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرها ارزیابی شد.

آنالیز آماری

در پژوهش حاضر آنالیز واریانس (ANOVA) داده‌ها

در رابطه (۳)، CI^1 : نشان‌دهنده شاخص تراکم‌پذیری، TD: نشان‌دهنده دانسیته حاصل از ضربه و BD: نشان‌دهنده دانسیته توده است (Carr, 1965).

رابطه (۴)

$$CI = 1 - \left(\frac{1}{HR}\right)$$

در رابطه (۴)، HR: نشان‌دهنده نسبت هاسنر می‌باشد.

اندازه‌گیری رطوبت

رطوبت نمونه‌ها توسط روش وزن‌سنجی حرارتی تعیین گردید. در این روش، ۲ گرم از پودر تا رسیدن به وزن ثابت در آن با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. مقدار رطوبت از طریق رابطه (۵) محاسبه گردید.

رابطه (۵)

$$M\% = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1}$$

در رابطه (۵)، M: درصد رطوبت، W_1 : وزن ظرف خالی، W_2 : مجموع وزن پودر و ظرف و W_3 : مجموع وزن پودر خشک‌شده و ظرف بعد از آون‌گذاری است (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۸۹).

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی

مقادیر ترکیبات فنول کل پودر و عصاره سماق به روش فولین-سیوکالتیو^۲ با اندکی تغییر اندازه‌گیری گردید (Singleton & Rossi, 1965). برای اندازه‌گیری ترکیبات فنولی پودر، ۱ گرم پودر با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به‌خوبی مخلوط‌شده، سپس به ۱ میلی‌لیتر محلول فوق، ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین و ۵ میلی‌لیتر از محلول ۷/۵ درصد کربنات سدیم اضافه و سپس با آب مقطر به حجم ۵۰ رسانده شد. درنهایت به‌خوبی تکان‌داده و داخل ظروف تیره ریخته و در تاریکی قرار داده شدند. پس از ۴۰ دقیقه، توسط اسپکتروفوتومتر (شرکت یونیکو، uv-2100، ساخت آمریکا) جذب در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت گردید. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف اسیدگالیک و

¹ Carr Index

² Folin-Ciocalteu

بزرگ‌تر شده و خلل‌وفرج و فضای خالی بین ذرات بیشتر می‌شود، بنابراین از میزان دانسیته توده کاسته می‌شود، که این کاهش در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد معنی‌دار بوده است (Santhalakshmy *et al.*, 2015; Mishra *et al.*, 2014; Kha *et al.*, 2010; Goula & Adamopoulos, 2005). از طرف دیگر با افزایش درجه حرارت، رطوبت کاهش یافته و ذرات سبک‌تر شده و در نتیجه دانسیته توده کاهش یافت (جدول ۲). افزایش غلظت حامل نیز به دلیل افزایش اندازه ذرات و همچنین کاهش مقادیر رطوبت و باتوجه به دلایل توضیح داده شده، باعث کاهش دانسیته توده گردید. باتوجه به اینکه حامل باعث تشکیل پوسته در سطح ذرات می‌شود، افزایش مقدار حامل باعث افزایش میزان هوای حبس شده در ذرات می‌شود و از آن جهت که هوا دانسیته کمتری دارد، دانسیته توده بودر کاهش می‌یابد (Santhalakshmy *et al.*, 2015; Goula & Adamopoulos, 2010).

در قالب طرح فاکتوریل، با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون توکی انجام گردید ($P < 0.05$). این پژوهش با استفاده از ۹ تیمار و در سه تکرار (به‌غیر از آزمون اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی که در دو تکرار بود) انجام گردید.

نتایج و بحث

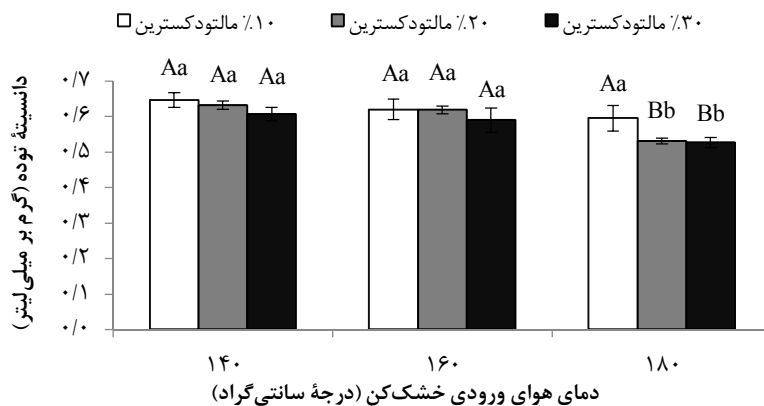
بررسی تغییرات دانسیته توده پودرها

براساس جدول آنالیز واریانس داده‌ها (جدول ۱)، اثر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر مقدار دانسیته توده معنی‌دار ($P < 0.05$) بوده و همچنین تأثیر معنی‌داری دما بیشتر از غلظت مالتودکسترین بوده است. با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین، از مقدار دانسیته توده کاسته شد (شکل ۱). با افزایش دمای خشک‌کردن، امکان تولید ذرات با چروکیدگی کم افزایش می‌یابد که در نتیجه اندازه ذرات

جدول ۱- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده

شاخص		F value			درجه آزادی	منابع تغییر
شاخص پیوستگی	شاخص تراکم‌پذیری	دانسیته ضربه	دانسیته توده	زاویه ریپوز		
۰/۹۷ ^{ns}	۱/۴۲ ^{ns}	۲۰/۲۸ ^{***}	۲۸/۲۴ ^{***}	۷۲۷۴/۹۰ ^{***}	۲	دما (A)
۰/۰۸ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۱۰/۰۵ ^{**}	۹/۳۴ ^{**}	۵۷۸۶/۱۷ ^{***}	۲	غلظت (B)
۱/۵۳ ^{ns}	۱/۶۵ ^{ns}	۳/۳۴ [*]	۱/۶۹ ^{ns}	۳۱۴/۱۲ ^{***}	۴	اثر متقابل (A×B)
					۱۸	خطای آمایش
					۲۶	کل

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، ns عدم معنی‌داری



شکل ۱- تغییرات دانسیته توده پودرهای تحت تأثیر دمای هوای خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین

اعداد گزارش شده میانگین سه تکرار هستند. حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بسته به غلظت مالتودکسترین (حروف بزرگ) و بسته به دمای هوای ورودی (حروف کوچک) هستند.

جدول ۲- تغییرات رطوبت پودرها تحت تأثیر دمای هوای خشک کن و غلظت مالتودکسترین

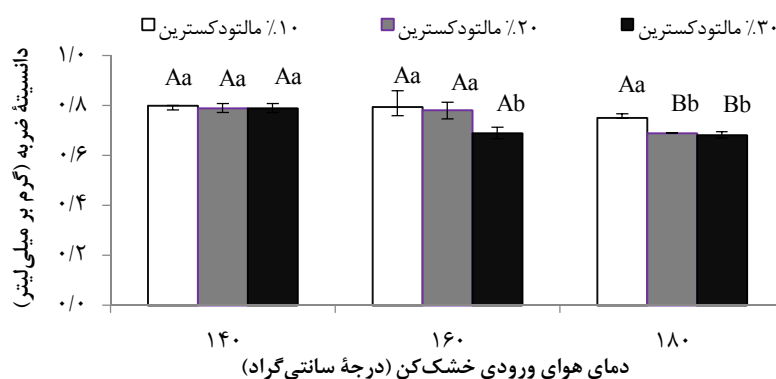
غلظت	دما (درجه سانتی گراد)		
	۱۸۰	۱۶۰	۱۴۰
۱۰ درصد مالتودکسترین	۲/۹۵۵±۰/۴۳۴ ^{Ab}	۳/۰۵۳±۰/۵۸۲ ^{Ab}	۳/۸۱۸±۰/۲۷۷ ^{Aa}
۲۰ درصد مالتودکسترین	۲/۵۱۷±۰/۵۲۵ ^{ABb}	۲/۵۳۸±۰/۵۵۸ ^{Ab}	۳/۱۶۵±۰/۲۸۶ ^{Ba}
۳۰ درصد مالتودکسترین	۲/۳۲۸±۰/۷۵۷ ^{Bb}	۲/۵۳۲±۰/۵۴۸ ^{Ab}	۳/۱۵۵±۰/۶۸۷ ^{Ba}

اعداد گزارش شده میانگین سه تکرار هستند. حروف لاتین غیرمشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) بسته به غلظت مالتودکسترین (حروف بزرگ) و بسته به دمای هوای ورودی (حروف کوچک) هستند.

بررسی تغییرات دانسیته ضربه پودرها

براساس جدول (۱)، تأثیر معنی داری دما بر دانسیته ضربه بیشتر از تأثیر غلظت مالتودکسترین بوده است ($P < 0.05$). با افزایش دما و افزایش غلظت مالتودکسترین، از مقدار دانسیته ضربه کاسته شد (شکل ۲). اندازه ذره عامل مؤثر در دانسیته ضربه‌ای، می‌باشد، اگر اندازه ذرات درشت‌تر باشد در اثر ضربه

حجم تغییر زیادی پیدا نمی‌کند، بنابراین دانسیته ضربه کوچک‌تر می‌شود. هرچه اندازه ذرات ریزتر باشد چون ذرات ریز می‌توانند در منافذ بین ذرات قرار گیرند، در نتیجه خلل و فرج کاهش یافته و حجم نیز متناسب با آن کاهش می‌یابد و دانسیته ضربه بیشتر می‌شود (Abdullah & Geldart, 1999).



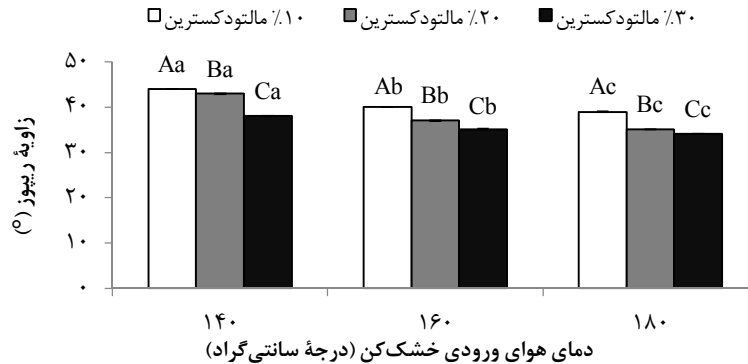
شکل ۲- تغییرات دانسیته ضربه پودرهای تحت تأثیر دمای هوای خشک کن و غلظت مالتودکسترین

اعداد گزارش شده میانگین سه تکرار هستند. حروف لاتین غیرمشابه نشان دهنده اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) بسته به غلظت مالتودکسترین (حروف بزرگ) و بسته به دمای هوای ورودی (حروف کوچک) هستند.

بررسی تغییرات زاویه ریپوز پودرها

اندازه‌گیری زاویه ساکن یا ایستای ریپوز، یکی از روش‌های ارزیابی جریان پذیری پودرهای غذایی می‌باشد. این زاویه با یک شیب ثابت هنگامی که پودر بر یک سطح صاف ریخته می‌شود، تشکیل می‌گردد. مطابق شکل (۳) با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین به‌طور معنی داری از مقدار زاویه ریپوز پودرهای عصاره سماق کاسته شده که نشان دهنده

جریان پذیری بیشتر پودرها می‌باشد ($P < 0.05$). با توجه به معیارهای پیشنهاد شده توسط Bhandari و همکاران (۱۹۹۸) پودرهایی با «جریان پذیری آزاد» آنهایی هستند که زاویه ریپوز کمتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد دارند و زاویه ریپوز بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان دهنده چسبندگی و مشکلات جریان پذیری است.



شکل ۳ - تغییرات زاویه ریپوز پودرهای تحت تأثیر دمای هوای خشک‌کن و غلظت مالتودکسترین

اعداد گزارش شده میانگین سه تکرار هستند. حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بسته به غلظت مالتودکسترین (حروف بزرگ) و بسته به دمای هوای ورودی (حروف کوچک) هستند.

ضربه بیان می‌شود. از روش‌های دیگر ارزیابی جریان‌پذیری، اندازه‌گیری شاخص تراکم‌پذیری می‌باشد. براساس جدول (۱) اثر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین و نیز اثر متقابل دما و غلظت بر مقدار پیوستگی و شاخص تراکم‌پذیری پودرها از لحاظ آماری معنی‌دار نبوده است ($P > 0.05$). اندازه ذرات، تأثیر مهمی بر جریان‌پذیری پودرها داشت. افزایش اندازه منجر به بهبود ویژگی‌های جریان‌پذیری پودرها شد. اندازه ذرات کوچک‌تر و حضور ذرات ریز، منجر به ویژگی‌های جریان‌پذیری ضعیف‌تری می‌شود که به صورت اعداد نسبت هاسنر و شاخص تراکم‌پذیری بزرگ‌تر مشخص می‌شود.

بررسی مقدار ترکیبات فنولی

در مطالعه‌های پیشین کارایی خوب خشک‌کن پاششی برای خشک‌کردن ترکیبات حساس به حرارت گزارش شده است (Fang & Bhandari, 2011). بازه کپسولاسیون یا اصطلاحاً کارایی ریزپوشانی در این مطالعه ۸۴-۹۷ درصد بود (جدول ۳). دمای خشک‌کردن و غلظت مالتودکسترین تأثیر قابل توجهی بر ترکیبات فنولی پودرها داشت ($P < 0.05$). ترکیبات فنولی پودر عصاره سماق در محدوده ۴/۱-۳/۷ (میلی‌گرم اسیدگالیک به‌ازاء گرم پودر عصاره سماق) و ترکیبات فنولی عصاره سماق در حدود ۴/۲۸ (میلی‌گرم اسیدگالیک به‌ازاء گرم عصاره سماق) به‌دست آمد. همان‌گونه که از جدول (۴) مشخص است با افزایش دمای خشک‌کردن و افزایش غلظت

زاویه ریپوز پودر عصاره سماق در محدوده ۳۴ الی ۴۴ درجه بود. پودرهای به‌دست‌آمده در دماها و غلظت‌های بالاتر (برای مثال پودرهای تولیدشده در ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و نیز پودرهای حاوی ۳۰ درصد مالتودکسترین) جزء پودرهایی با جریان‌پذیری بالا یا به اصطلاح جریان‌پذیری آزاد بودند و سایر پودرها ویژگی‌های جریان‌پذیری در محدوده نسبتاً خوب را دارا بودند. تقویت جریان‌پذیری پودرها در دماهای بالاتر به مقدار رطوبت پایین‌تر آنها نسبت داده می‌شود، زیرا رطوبت بالاتر موجب تضعیف جریان‌پذیری می‌شود (Fitzpatrick, 2005). براساس مطالعه‌های Scoville و Pelag (۱۹۸۱) این موضوع به‌دلیل افزایش در پل‌های مایع و نیروی مویبندی بین ذرات می‌باشد. از طرف دیگر با افزایش اندازه ذرات، نیروهای بین‌ذره‌ای ضعیف‌تر شده، چسبندگی بین ذرات کاهش می‌یابد و ذراتی با جریان‌پذیری بیشتر تولید می‌شود (Abdullah & Geldart, 1999). همان‌گونه که اشاره شد با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین، از رطوبت پودرها کاسته و بر اندازه ذرات افزوده شد. این یافته‌ها موافق با نتایج Moreira و همکاران (۲۰۰۹) بود.

بررسی تغییرات شاخص تراکم‌پذیری و شاخص پیوستگی پودرها

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی جریان‌پذیری پودرها، تعیین نسبت هاسنر و یا همان پیوستگی است. نسبت هاسنر به‌صورت مقدار آفت در دانسیته توده به دانسیته

جدول ۴- تأثیر تیمارها، شرایط و زمان نگهداری بر مقدار ترکیبات فنولی پودر عصاره سبک تهیه شده به روش خشک کن پاششی

زمان تیمار	روز ۱			روز ۳۰			روز ۶۰			روز ۹۰		
	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰	تاریکی، ۲۰
۱۴۰ °C- / ۱۰	۴/۱۰ ^{Ab}	۴/۱۰ ^{Ad}	۴/۱۰ ^{Ac}	۴/۱۸ ^{Ab}	۴/۲۷ ^{Abc}	۴/۲۵ ^{Ab}	۴/۲۳ ^{Ac}	۴/۲۱ ^{Abc}	۴/۲۱ ^{Abc}	۴/۲۱ ^{Abc}	۴/۲۱ ^{Abc}	۴/۲۱ ^{Abc}
۱۴۰ °C- / ۲۰	۳/۸۷ ^{Bd}	۳/۸۷ ^{Bb}	۳/۸۷ ^{Bd}	۳/۹۰ ^{Babc}	۴/۱۰ ^{Bcb}	۴/۰۲ ^{Cbc}	۴/۱۱ ^{Ca}	۴/۱۱ ^{Ca}	۳/۸۷ ^{Cc}	۳/۹۴ ^{Ccd}	۳/۸۷ ^{Cc}	۳/۸۷ ^{Cc}
۱۴۰ °C- / ۳۰	۳/۸۴ ^{BCb}	۳/۸۴ ^{BCa}	۳/۸۴ ^{BCb}	۳/۸۸ ^{BCc}	۴/۰۱ ^{CDa}	۳/۸۲ ^{Eb}	۳/۹۴ ^{Ea}	۳/۸۲ ^{Ea}	۳/۸۲ ^{Cc}	۳/۸۶ ^{CDEb}	۳/۸۲ ^{Cc}	۳/۸۲ ^{Cc}
۱۴۰ °C- / ۱۰	۴/۰۵ ^{Ab}	۴/۰۵ ^{Abc}	۴/۰۵ ^{Ab}	۴/۱۵ ^{Aab}	۴/۲۰ ^{ABa}	۴/۲۱ ^{Ba}	۴/۱۹ ^{ABa}	۴/۱۹ ^{ABa}	۴/۰۵ ^{Bb}	۴/۱۴ ^{ABab}	۴/۱۹ ^{ABa}	۴/۱۹ ^{ABa}
۱۴۰ °C- / ۲۰	۳/۸۰ ^{BCc}	۳/۸۰ ^{BCc}	۳/۸۰ ^{BCc}	۳/۸۰ ^{BCd}	۳/۹۶ ^{DEb}	۳/۹۵ ^{CDb}	۴/۰۲ ^{Dab}	۴/۰۲ ^{Dab}	۳/۸۵ ^{Ccd}	۳/۹۳ ^{CDb}	۳/۸۴ ^{Cd}	۳/۸۴ ^{Cd}
۱۴۰ °C- / ۳۰	۳/۷۳ ^{Cc}	۳/۷۳ ^{Cc}	۳/۷۳ ^{Cc}	۳/۷۳ ^{Cab}	۳/۸۵ ^{EFab}	۳/۸۱ ^{EFab}	۳/۸۸ ^{Efa}	۳/۸۸ ^{Efa}	۳/۷۲ ^{Db}	۳/۸۴ ^{EFa}	۳/۷۲ ^{Db}	۳/۷۲ ^{Db}
۱۸۰ °C- / ۱۰	۴/۰۵ ^{Abc}	۴/۰۵ ^{Aa}	۴/۰۵ ^{Abc}	۴/۰۵ ^{Aab}	۴/۰۱ ^{BCab}	۴/۱۸ ^{Ba}	۴/۱۳ ^{BCa}	۴/۱۳ ^{BCa}	۳/۸۴ ^{Cc}	۴/۰۸ ^{Bab}	۳/۸۴ ^{Cc}	۴/۰۸ ^{Ba}
۱۸۰ °C- / ۲۰	۳/۷۷ ^{BCcd}	۳/۷۷ ^{BCcd}	۳/۷۷ ^{BCcd}	۳/۷۷ ^{BCcd}	۳/۸۹ ^{DEFa}	۳/۷۲ ^{Fd}	۳/۹۲ ^{Eab}	۳/۹۲ ^{Eab}	۳/۷۰ ^{Dd}	۳/۸۱ ^{DEbc}	۳/۷۰ ^{Dd}	۳/۷۰ ^{Dd}
۱۸۰ °C- / ۳۰	۳/۷۱ ^{Cc}	۳/۷۱ ^{Cab}	۳/۷۱ ^{Cc}	۳/۷۱ ^{Cbc}	۳/۸۲ ^{Fabc}	۳/۹۲ ^{Da}	۳/۸۴ ^{Fa}	۳/۸۴ ^{Fa}	۳/۶۹ ^{Dc}	۳/۷۹ ^{Ebc}	۳/۶۹ ^{Dc}	۳/۷۹ ^{Ebc}

اعداد جدول میانگین سه تکرار بوده و حروف لاتین غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) بسته به تیمارها (حروف بزرگ) و بسته به زمان (حروف کوچک) است.

مالتودکسترین به طور معنی داری ($P < 0.05$) از مقدار ترکیبات فنول کل کاسته شد. ترکیبات فنولی در برابر دماهای بالای خشک کردن حساس هستند و به همین علت افزایش دما می تواند باعث تجزیه حرارتی یا اکسیداسیون و در نتیجه باعث کاهش محتوای ترکیبات فنولی و نیز کاهش کارایی ریزپوشانی گردد. همچنین گزارش شده است که پودرهای خشک شده پاششی در دماهای پایین تر، تمایل به متراکم شدن^۱ دارند که به دلیل مقدار رطوبت بالاتر آنها می باشد. متراکم شدن منجر به در معرض قرارگیری کمتر پودرها در برابر اکسیژن می شود و بنابراین ترکیبات فنولی را از تجزیه شدن محافظت می کند (Quek et al., 2007; Goula et al., 2004). از طرف دیگر افزایش غلظت حامل باعث رقیق شدن و کاهش مواد مغذی خوراک ورودی به خشک کن نظیر ترکیبات فنولی عصاره می شود، چون مالتودکسترین ماده ای است که فاقد فعالیت آنتی اکسیدانی می باشد (Mishra et al., 2014). از طرف دیگر برخی از مطالعه ها نشان داده اند که در دماهای بالا با افزایش مقدار مالتودکسترین، کارایی ریزپوشانی افزایش می یابد و این امر به دلیل اثر ریزپوشاندگی مالتودکسترین می باشد (kha et al., 2010; Wagner & Warthesen, 1995; Bhandari et al., 1992).

جدول ۳ - تغییرات کارایی کپسولاسیون

غلظت	دما (درجه سانتی گراد)		
	۱۸۰	۱۶۰	۱۴۰
۱۰ درصد مالتودکسترین	۹۶/۸۸	۹۶/۸۸	۹۷/۰۸
۲۰ درصد مالتودکسترین	۸۹/۷۶	۹۰/۴۷	۹۲/۱۴
۳۰ درصد مالتودکسترین	۸۴/۷	۸۵/۱۵	۸۷/۶۷

^۱ Agglomeration

بررسی تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت مهارکنندگی رادیکالی یک ویژگی مهم به دلیل ممانعت از فعالیت رادیکال‌های آزاد در مواد غذایی و سیستم‌های بیولوژیکی بوده و نشان‌دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. براساس نتایج آنالیز داده‌ها اثر دمای خشک‌کردن و غلظت مالتودکسترین بر فعالیت بازدارندگی رادیکالی پودر عصاره سماق معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.05$). درصد بازدارندگی پودر عصاره سماق خشک‌شده به روش پاششی در محدوده ۸۶-۸۹ درصد بود، که نشان‌دهنده درصد بازدارندگی خوب پودرهای عصاره سماق می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین نشان داد فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط مستقیم و تنگاتنگی با محتوای آنتوسیانین و ترکیبات فنولی ماده موردنظر دارد (Fazaeli *et al.*, 2012; Nadeem *et al.*, 2011; Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk, 2011). سماق سرشار از آنتی‌اکسیدان‌هایی نظیر اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها، تانن‌ها و آنتوسیانین‌ها می‌باشد (Kosar *et al.*, 2007). توانایی فعالیت آنتی‌اکسیدانی پلی‌فنول‌ها عمدتاً به دلیل گروه‌های هیدروکسیل آنها می‌باشد که از طریق پایدارسازی رادیکال‌های آزاد، موجب ممانعت از اکسیداسیون لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA شده، بنابراین منجر به کاهش تأثیرات مخرب اکسیداسیون می‌گردند (Rice-Evans *et al.*, 1997). همان‌گونه که از جدول (۵) مشخص است با افزایش دمای خشک‌کردن و کاهش غلظت مالتودکسترین از میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر سماق کاسته شد. افزایش دما باعث کاهش ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حساس به حرارت شد و در نتیجه منجر به کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید. همچنین احتمالاً دماهای بالاتر، به‌طور معکوس ساختار ترکیبات فنولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به شکستن یا سنتز آنها به شکل‌های مختلف می‌شود (احمدی‌راد و همکاران، ۱۳۹۵؛ Mishra *et al.*, 2014؛ Kha *et al.*, 2010؛ Quek *et al.*, 2007). با افزایش غلظت مالتودکسترین نیز به دلیل اثر محافظت‌کنندگی و ریزپوشاندگی مالتودکسترین، سبب حفاظت بیشتر از ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی خواهد شد و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر عصاره سماق

افزایش می‌یابد (شهیدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Kha *et al.*, 2010). از طرف دیگر، با افزایش غلظت مالتودکسترین به دلیل کاهش مقدار ترکیبات با فعالیت آنتی‌اکسیدانی موجود در سطح و همچنین افزایش اندازه ذرات و کاهش سطح شست‌وشو، فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد (Wagner & Warthesen, 1995; Bhandari *et al.*, 1992). از طرف دیگر برخی از محققان گزارش کرده‌اند که افزایش در غلظت مالتودکسترین که خود فعالیت بازدارندگی رادیکالی ندارد، منجر به کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود که احتمالاً به تأثیر رقیق‌سازی مالتودکسترین مربوط می‌شود (احمدی‌راد و همکاران، ۱۳۹۵؛ Mishra *et al.*, 2014).

بررسی تغییرات نگهداری طی زمان

تأثیر شرایط و زمان نگهداری بر ترکیبات فنولی پودر عصاره سماق

باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۴) مشخص شد که ترکیبات فنولی پودر عصاره سماق در تمامی شرایط نگهداری، طی ۹۰ روز به‌صورت جزئی اما معنی‌دار افزایش یافته است ($P < 0.05$). نتایج مشابهی توسط محققان به‌دست آمد (Flores *et al.*, 2014; Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk, 2011; Nohynek *et al.*, 2006; Mollen *et al.*, 2002). این افزایش را به دلیل تغییرات ساختاری در ترکیبات فنولی طی زمان نسبت دادند. همان‌گونه که از نتایج و داده‌ها (جدول ۴) مشخص است، پس از ۹۰ روز نگهداری در شرایط مختلف، تغییرات ترکیبات فنولی پودرهای عصاره سماق بدین ترتیب می‌باشد: در پودرهای نگهداری‌شده در شرایط تاریکی دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد افزایش ترکیبات فنولی در محدوده ۱-۵ درصد و به‌صورت میانگین ۳ درصد، در مورد پودرهای نگهداری‌شده در شرایط روشنایی دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد این افزایش در محدوده ۰/۶-۳/۳ درصد و به‌صورت میانگین ۱/۹۵ درصد و در نهایت افزایش ترکیبات فنولی پودرهای نگهداری‌شده در دمای تاریکی در ۶ درجه سانتی‌گراد محدوده ۵/۳۹-۲/۴ درصد و به‌صورت میانگین ۳/۸ درصد بود. به‌عبارت‌دیگر درصد افزایش میانگین ترکیبات فنولی در دماهای پایین‌تر، بیشتر از دماهای بالاتر و در

جدول ۵- تأثیر تیمارها، شرایط و زمان نگهداری بر مقدار فعالیت آنتی اکسیدانی پودر عصاره سماق تهیه شده به روش خشک کن پاششی

زمان تیمار	روز ۱						روز ۲۰					
	تاریکی، ۶	تاریکی، ۲۰	نور، ۶	تاریکی، ۲۰	نور، ۲۰	تاریکی، ۶	تاریکی، ۲۰	نور، ۶	تاریکی، ۲۰	نور، ۲۰	تاریکی، ۶	تاریکی، ۲۰
۱۴۰ °C- / ۱۰	۸۸/۳۱ ^{BCcd}	۸۸/۳۳ ^{BCDab}	۸۸/۳۳ ^{Ad}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{Ad}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{Ad}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{ABc}
۱۴۰ °C- / ۲۰	۸۸/۴۵ ^{ABbc}	۸۸/۴۵ ^{ABbc}	۸۸/۴۳ ^{Ade}	۸۸/۴۳ ^{ABe}	۸۸/۴۳ ^{Aa}	۸۸/۴۳ ^{Ad}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{Ad}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}
۱۴۰ °C- / ۳۰	۸۸/۵۷ ^{Ad}	۸۸/۵۲ ^{Ac}	۸۸/۵۲ ^{Ac}	۸۸/۴۵ ^{Ac}	۸۸/۴۳ ^{Ab}	۸۸/۴۳ ^{Ac}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{Ad}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}
۱۶۰ °C- / ۱۰	۸۸/۱۶ ^{Cd}	۸۸/۲۳ ^{ABcd}	۸۸/۲۳ ^{ABcd}	۸۸/۲۳ ^{BCcd}	۸۸/۲۳ ^{ABc}	۸۸/۲۳ ^{ABcd}	۸۸/۲۳ ^{ABc}	۸۸/۲۳ ^{ABc}	۸۸/۲۳ ^{ABc}	۸۸/۲۳ ^{Ad}	۸۸/۲۳ ^{ABc}	۸۸/۲۳ ^{ABc}
۱۶۰ °C- / ۲۰	۸۸/۳۵ ^{ABCc}	۸۸/۳۳ ^{BCDc}	۸۸/۳۳ ^{Ac}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{Ad}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{Ad}	۸۸/۳۳ ^{ABc}	۸۸/۳۳ ^{ABc}
۱۶۰ °C- / ۳۰	۸۸/۴۵ ^{ABcd}	۸۸/۴۱ ^{ABCc}	۸۸/۴۲ ^{Ab}	۸۸/۴۳ ^{ABbc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{Ad}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{Ad}	۸۸/۴۳ ^{ABc}	۸۸/۴۳ ^{ABc}
۱۸۰ °C- / ۱۰	۸۸/۷۸ ^{De}	۸۸/۷۸ ^{De}	۸۸/۷۸ ^{Aa}	۸۸/۷۸ ^{Ca}	۸۸/۷۸ ^{ABc}	۸۸/۷۸ ^{Ad}	۸۸/۷۸ ^{ABc}	۸۸/۷۸ ^{ABc}	۸۸/۷۸ ^{ABc}	۸۸/۷۸ ^{Ad}	۸۸/۷۸ ^{ABc}	۸۸/۷۸ ^{ABc}
۱۸۰ °C- / ۲۰	۸۸/۱۹ ^{Dd}	۸۸/۱۹ ^{Dd}	۸۸/۱۹ ^{Ad}	۸۸/۱۹ ^{ABcd}	۸۸/۱۹ ^{ABc}	۸۸/۱۹ ^{Ad}	۸۸/۱۹ ^{ABc}	۸۸/۱۹ ^{ABc}	۸۸/۱۹ ^{ABc}	۸۸/۱۹ ^{Ad}	۸۸/۱۹ ^{ABc}	۸۸/۱۹ ^{ABc}
۱۸۰ °C- / ۳۰	۸۸/۱۶ ^{Cc}	۸۸/۱۶ ^{Cc}	۸۸/۲۰ ^{Acde}	۸۸/۱۶ ^{ABCde}	۸۸/۱۶ ^{ABc}	۸۸/۱۶ ^{ABc}	۸۸/۱۶ ^{ABc}	۸۸/۱۶ ^{ABc}	۸۸/۱۶ ^{ABc}	۸۸/۱۶ ^{Ad}	۸۸/۱۶ ^{ABc}	۸۸/۱۶ ^{ABc}

اعداد جدول می‌توانند دو تکرار بوده و حروف لاتین غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی دار ($P < 0.05$) بسته به تیمارها (حروف بزرگ) و بسته به زمان (حروف کوچک) است.

تاریکی بیشتر از روشنایی بود. بنابراین برای پایداری و یا حتی بهبود ترکیبات فنولی طی دوره‌های نگهداری طولانی‌مدت، نگهداری در شرایط دمایی پایین و تاریکی مناسب‌تر می‌باشد. نتایج مشابهی توسط Fang و Bhandari (۲۰۱۱)، Pains و همکاران (۲۰۱۵) و Wagner و Warthesen (۱۹۹۵) ارائه گردید. در این مطالعه مشخص شد که افزایش فنول پودر سماق در شرایط روشنایی کمتر از تاریکی بود، که این موضوع احتمالاً به دلیل تأثیر نور روی ترکیبات فنولی بود، زیرا نور باعث افزایش سرعت تجزیه ترکیبات فنولی می‌شود (Paini et al. 2015; Pesek & Warthesen, 1987).

تأثیر شرایط و زمان نگهداری بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر عصاره سماق براساس نتایج و داده‌های به‌دست‌آمده (جدول ۵) میزان تغییرات معنی‌دار ($P < 0.05$) بعد از ۹۰ روز نگهداری، درمورد نمونه‌های نگهداری‌شده در شرایط تاریکی و دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد و همچنین نمونه‌های تحت شرایط روشنایی و دمایی ۲۰ درجه سانتی‌گراد بسیار جزئی و در حدود کمتر از ۱ درصد افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها بود. درمورد نمونه‌های نگهداری‌شده در شرایط تاریکی و دمایی ۶ درجه سانتی‌گراد میزان این تغییرات معنی‌دار ($P < 0.05$) بعد از ۹۰ روز در حدود ۱ درصد افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرها بود که نسبت به سایر شرایط نگهداری مقدار بالاتری داشت. این نتایج نشان داد که در تمامی شرایط نگهداری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای عصاره سماق پایدار بود چرا که افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی بعد از ۹۰ روز بسیار جزئی و حداکثر در حدود ۱ درصد بود. این نتایج مشابه نتایج Laine و همکاران (۲۰۰۸) بود. افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مطالعه Ferrari و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش شد که این افزایش را به هیدرولیز ترکیبات فنولی طی فراوری خشک‌کردن یا نگهداری نسبت دادند.

(2002). از طرف دیگر هیدرولیز شدن تانن‌های با قابلیت هیدرولیز می‌تواند فعالیت آنتی‌اکسیدانی را از طریق افزایش دادن تعداد گروه‌های هیدروکسیل آزاد بهبود بخشد (Aaby *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش امکان تولید پودر عصاره سماق با استفاده از خشک‌کن پاششی و تأثیر شرایط مختلف خشک‌کردن پاششی و شرایط نگهداری روی پودرهای تولیدی بررسی گردید. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به‌غیر از شاخص تراکم‌پذیری و شاخص پیوستگی به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) تحت تأثیر دما و غلظت مالتودکسترین قرار گرفتند. نتایج نگهداری ۹۰ روزه حاکی از این بود که برای پایداری و یا حتی بهبود ترکیبات فنولی در نگهداری‌های طولانی‌مدت، نگهداری در شرایط دمایی پایین و تاریکی ترجیح داده می‌شود. همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای عصاره سماق در تمامی شرایط نگهداری پایدار بود، زیرا این افزایش بسیار جزئی بود. به‌طور کلی اگرچه با افزایش غلظت مالتودکسترین چسبندگی پودر کاهش و به‌تبع آن راندمان تولید پودر افزایش می‌یابد، اما به‌دلیل کاهش و رقیق شدن ترکیبات فنولی و افزایش هزینه‌ها، افزایش بیش‌از اندازه در غلظت حامل توصیه نمی‌گردد و می‌توان غلظت مالتودکسترین ۲۰ درصد را به‌عنوان غلظت بهینه معرفی نمود. همچنین دماهای ورودی بالا، اگرچه باعث کاهش چسبندگی پودر و نیز بهبود برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی نظیر جریان‌پذیری پودر می‌شود، ولی به‌دلیل افت ترکیبات فنولی و ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، می‌توان دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد را به‌عنوان دمای بهینه خشک‌کردن پاششی پودر عصاره سماق معرفی نمود.

نتایج برخی محققان حاکی از آن بود که در دماهای بالای نگهداری، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمتر می‌شود؛ آنها دلیل آن را به کاهش در ترکیبات فنولی و آنتوسیانینی نسبت دادند (Fang & Bhandari, 2011). همچنین مشخص شد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌تنهایی با ترکیبات فنولی ارتباط ندارد، چرا که افزایش در ترکیبات فنولی طی دوره نگهداری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی را تحت تأثیر قرار نداد (Flores *et al.*, 2014; Aaby *et al.*, 2007; Mullen *et al.*, 2002). مطالعه‌های دیگری نشان دادند که ترکیبات فنولی تولیدشده در اثر حرارت طی تجزیه‌شدن یا پلیمریزه‌شدن، می‌توانند بخشی یا کل افت ناشی از کاهش آنتوسیانین مونومریک در فعالیت آنتی‌اکسیدانی را جبران کنند (Fischer *et al.*, 2013). طبق مطالعه Nicolli و همکاران (۱۹۹۹) مشخص شد که ترکیبات فنولی به‌صورت گروهی عمل می‌کنند، به این معنا که آنها با اثر هم‌افزایی فعالیت آنتی‌اکسیدانی همدیگر را حمایت می‌کنند. به‌عبارت‌دیگر از دست رفتن ترکیبات فنولی اصلی می‌تواند با فنول‌های شکل‌گرفته با فعالیت آنتی‌اکسیدانی برابر یا بیشتر، جبران شود. همچنین آنها بیان نمودند که افزایش در فعالیت آنتی‌اکسیدانی طی نگهداری در تمامی نمونه‌ها می‌تواند رخ دهد، زیرا که طی بازه زمانی نگهداری، ترکیبات جدید با فعالیت آنتی‌اکسیدانی و توانایی بازداری از رادیکال‌ها مانند، ترکیبات حد واسط تولیدشده طی واکنش مایلارد^۱ می‌تواند آزادشده و یا شکل بگیرند (Nicolli *et al.*, 1999). گزارش‌هایی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد، اکسید شدن تانن‌های با قابلیت هیدرولیز، می‌تواند منجر به الیگومریزاسیون^۲ از طریق جفت شدن فنول‌ها شود و در نتیجه باعث افزایش تعداد مناطق واکنش و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردد (Bors & Michel, 2002).

منابع

۱- احمدی‌راد، م، امام‌جمعه، ز. و اسدی، ح. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی فرایند خشک‌کردن پاششی آب زغال‌اخته با استفاده از روش سطح‌پاسخ. علوم و صنایع غذایی ایران، ۵۰(۱۳): ۶۷-۸۷.

¹ Maillard

² Oligomerization

- ۲- سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۳۸۹. غلات و فراورده‌های آن - روش اندازه‌گیری رطوبت - روش مرجع. شماره ۲۷۰۵.
- ۳- شهیدی، ف.، وریدی، م.، محبی، م.، نوشاد، م. و خلیلیان‌موحد، م. ۱۳۹۳. بهینه‌یابی شرایط خشک‌کردن پاششی آب انار با استفاده از روش سطح-پاسخ. پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۲(۳):۱۲۹-۱۴۲.
- 4- Aaby, K.; Wrolstad, R.E.; Ekeberg, D., & Skrede, G. 2007. Polyphenol composition and antioxidant activity in strawberry purees; impact of achene level and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(13):5156-5166.
- 5- Abdullah, E.C., & Geldart, D. 1999. The use of bulk density measurements as flowability indicators. *Powder Technology*, 102(2):151-165.
- 6- Azimi, A.A., Delnavaz, H.B., & Mansour, G.A. 2006. Antifungal effect of aqueous alcoholic and phenolic extracts of seed and leaves of sorghum bicolor against fusarium solani fusarium poa in persian. *Medical Plant*, 6(1):26-32.
- 7- Bakowska-Barczak, A.M., & Kolodziejczyk, P.P. 2011. Black currant polyphenols: their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*, 34(2):1301-1309.
- 8- Bhandari, B.R., Datta, N., D'Arcy, B.R., & Rintoul, G.B. 1998. Co-crystallization of honey with sucrose. *LWT-Food Science and Technology*, 31(2):138-142.
- 9- Bhandari, B.R., Dumoulin, E.D., Richard, H.M.J., Noleau, I., & Lebert, A.M. 1992. Flavor encapsulation by spray drying: application to citral and linalyl acetate. *Journal of Food Science*, 57(1):217-221.
- 10- Boonyai, P., Bhandari, B., & Howes, T. 2004. Stickiness measurement techniques for food powders: a review. *Powder Technology*, 145(1):34-46.
- 11-Bors, W., & Michel, C. 2002. Chemistry of the antioxidant effect of polyphenols. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 957(1):57-69.
- 12-Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1):25-30.
- 13-Çam, M., İçyer, N.C., & Erdogan, F. 2014. Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1):117-123.
- 14-Carr, R.L. 1965. Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering*, 18:163-168.
- 15-Desai, K.G.H., & Jin Park, H. 2005. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23(7):1361-1394.
- 16-Embuscado, M.E. 2015. Spices and herbs: natural sources of antioxidants-a mini review. *Journal of Functional Foods*, 18(B):811-819.
- 17-Ersus, S., & Yurdagel, U. 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80(3):805-812.
- 18-Fang, Z., & Bhandari, B. 2011. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129(3):1139-1147.
- 19-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(4):667-675.

- 20-Ferrari, C.C., Marconi Germer, S.P., Alvim, I.D., & de Aguirre, J.M. 2013. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. *Drying Technology*, 31(4):470-478.
- 21-Fischer, U.A., Carle, R., & Kammerer, D.R. 2013. Thermal stability of anthocyanins and colourless phenolics in pomegranate (*punica granatum L.*) juices and model solutions. *Food Chemistry*, 138(2-3):1800-1809.
- 22-Fitzpatrick, J.J. 2005. Food powder flowability. *Power Handling and Analysis*. P: 247-260. In C. Onwulata (Ed.), *Encapsulated and powdered foods*. New York, UK.
- 23-Flores, F.P., Singh, R.K., & Kong, F. 2014. Physical and storage properties of spray-dried blueberry pomace extract with whey protein isolate as wall material. *Journal of Food Engineering*, 137:1-6.
- 24-Giancarlo, S., Rosa, L.M., Nadjafi, F., & Francesco, M. 2006. Hypoglycaemic activity of two spices extracts: *rhus coriaria L.* and *bunium persicum boiss.* *Natural Product Research*, 20(9):882-886.
- 25-Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2):342-351.
- 26-Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2008a. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. drying kinetics and product recovery. *Drying Technology*, 26(6):714-725.
- 27-Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2008b. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. powder properties. *Drying Technology*, 26(6):726-737.
- 28-Goula, A.M., & Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. the effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66(1):35-42.
- 29-Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., & Kazakis, N.A. 2004. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22(5):1129-1151.
- 30-Gündüz, G.T., Gönül, S.A., & Karapinar, M. 2010. Efficacy of sumac and oregano in the inactivation of *salmonella typhimurium* on tomatoes. *International Journal of Food Microbiology*, 141(1-2):39-44.
- 31-Jinapong, N., Suphantharika, M., & Jamnong, P. 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2):194-205.
- 32-Kanakdande, D., Bhosale, R., & Singhal, R.S. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate Polymers*, 67(4):536-541.
- 33-Kha, T.C., Nguyen, M.H., & Roach, P.D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98(3):385-392.
- 34-Kosar, M., Bozan, B., Temelli, F., & Baser, K.H.C. 2007. Antioxidant activity and phenolic composition of Sumac (*rhus coriaria L.*) extracts. *Food Chemistry*, 103(3):952-959.

- 35-Krishnan, S., Bhosale, R., & Singhal, R.S. 2005. Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*, 61(1):95-102.
- 36-Laine, P., Kylli, P., Heinonen, M., & Jouppila, K. 2008. Storage stability of microencapsulated cloudberry (*rubus chamaemorus*) phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(23):11251-11261.
- 37-Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C.L. 2014. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 92(3):252-258.
- 38-Moreira, G.E.G., Costa, M.G.M., de Souza, A.C.R., de Brito, E.S., de Medeiros, M.D.F.D., & de Azeredo, H.M.C. 2009. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT-Food Science and Technology*, 42(2):641-645.
- 39-Mullen, W., Stewart, A.J., Lean, M.E.J., Gardner, P., Duthie, G.G., & Crozier, A. 2002. Effect of freezing and storage on the phenolics, ellagitannins, flavonoids, and antioxidant capacity of red raspberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(18):5197-5201.
- 40-Nadeem, H.S., Torun, M., & Ozdemir, F. 2011. Spray drying of the mountain tea (*sideritis strica*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT-Food Science and Technology*, 44(7):1626-1635.
- 41-Nicoli, M.C., Anese, M., & Parpinel, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 10(3):94-100.
- 42-Nohynek, L.J., Alakomi, H., Kahkonen, M.P., Heinonen, M., Helander, I.M., Oksman-Caldentey, K., & Puupponen-Pimia, R.H. 2006. Berry phenolics: antimicrobial properties and mechanisms of action against severe human pathogens. *Nutrition and Cancer*, 54(1):18-32.
- 43-Paini, M., Aliakbarian, B., Casazza, A.A., Lagazzo, A., Botter, R., & Perego, P. 2015. Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: a study of operative parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1):177-186.
- 44-Pesek, C.A., & Warthesen, J.J. 1987. Photodegradation of carotenoids in a vegetable juice system. *Journal of Food Science*, 52(3):744-746.
- 45-Quek, S.Y., Chok, N.K., & Swedland, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5):386-392.
- 46-Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4):152-159.
- 47-Santhalakshmy, S., Bosco, S.J.D., Francis, S., & Sabeena, M. 2015. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274:37-43.
- 48-Scoville, E., & Peleg, M. 1981. Evaluation of the effect of liquid bridges on the bulk properties of model powders. *Journal of Food Science*, 46(1):174-177.
- 49-Shahidi, F., & Han, X.Q. 1993. Encapsulation of food ingredients. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 33(6):501-547.

50-Singleton, V.L., & Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal Enology Viticulture*, 16(3):144-158.

51-Wagner, L.A., & Warthesen, J.J. 1995. Stability of spray dried encapsulated carrot carotenes. *Journal of Food Science*, 60(5):1048-1053.

Investigating Characteristics of Encapsulated Sumac Extract Powder with Spray Drying and the Effect of Different Storage Conditions on its Phenolic Compounds and Antioxidant Activity

Nasrin Malekizadeh¹, Seyed Hadi Peighambardoust^{2*}, Aref Oladghaffari³,
Khashayar Sarabandi⁴

- 1- MSc graduated, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
- 2- Professor of Food Technology, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
- * Corresponding author (peighambardoust@tabrizu.ac.ir)
- 3- Academic Staff of Food Research Group, Food and Agriculture Research Department, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran
- 4- PhD Student, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Abstract

Due to the microbial problems arising from the maintenance of spices and also flavor and color losses of the product during storage, encapsulation of spices extract is an appropriate solution that has been suggested by some researchers. Three different inlet air temperatures (140, 160 and 180 °C) and different maltodextrin (DE=18-20) concentrations (10, 20 and 30%) on bulk and tapped density, flow-ability, total phenolic content and antioxidant activity of spray dried sumac powders were investigated. Also the phenolic content and antioxidant activity, in three different storage conditions (light 20 °C, darkness 20 °C and 6 °C) for 90 days were investigated. The results demonstrated that with increasing inlet air temperature and maltodextrin concentration, the flow- ability of samples increased, while bulk density, tapped density and total phenolic content decreased. The antioxidant activity of the samples also decreased with increasing inlet air temperature and decreasing maltodextrin concentration. Considering 90-days storage results, lower temperatures in darkness conditions, seems to be the best choice for a long period storage of the spray dried sumac powders.

Keywords: Microencapsulation, Properties, Spray drying, Storage, Sumac