

تأثیر نوع مالتودکسترین بر پایه معادل دکستروز و دمای هوای ورودی بر ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی پودر میوه زرشک تولید شده به روش خشک کردن پاششی

نرجس نادعلی^۱، ابوالفضل پهلوانلو^{۲*}، محبوبه سرابی جماب^۲ و احمد بالندری^۲

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۸

^۱ دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه پژوهشی فراوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد

^۲ استادیار گروه پژوهشی زیست فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد

* مسئول مکاتبه: Email: a.pahlevanloo@rifst.ac.ir

چکیده

میوه زرشک سرشار از ترکیبات مغذی نظیر آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنلی است و پودر حاصل از آن نیز می‌تواند به عنوان منبع مهمی از این ترکیبات در نظر گرفته شود. خشک‌کردن پاششی به شکل گسترده جهت تولید پودرهای نوشیدنی استفاده می‌شود. نوع حامل و دمای ورودی خشک‌کن پاششی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ویژگی‌های پودر حاصله می‌باشد. در این تحقیق خواص فیزیکی شیمیایی پودر به دست آمده از آبمیوه زرشک (بریکس ۱۲) همراه با ۱۲ درصد (وزنی-حجمی) مالتودکسترین با معادل دکستروز ۷-۴ و ۱۹/۵-۱۶/۵، تحت تأثیر دو دمای هوای ورودی ۱۳۰ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد بررسی گردید. نتایج نشان داد در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش معادل دکستروز مقدار رطوبت کاهش و دانسیته توده و جذب رطوبت افزایش یافت ($P < 0.05$). دمای انتقال شیشه‌ای پودر تولید شده در دمای ورودی ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش معادل دکستروز بیشتر شد. تصاویر اسکن شده توسط میکروسکوپ الکترونی نشان دادند با افزایش معادل دکستروز تخلخل پودر به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.05$). پراش اشعه ایکس حضور سطوح آمورف را در رابطه با پودرهای تولید شده تأیید کرد. استفاده از مالتودکسترین با معادل دکستروز بالاتر موجب کاهش آنتوسیانین کل شد. نتایج حاصل از ارزیابی رنگ مشخص کرد که با افزایش معادل دکستروز اندیس a^* کاهش یافت ($P < 0.05$). به‌طور کلی، پودر تولید شده با معادل دکستروز پایین تحت دمای ورودی ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد از ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی مناسب‌تری برخوردار بود.

واژگان کلیدی: پودر زرشک، خشک‌کردن پاششی، مالتودکسترین، خواص فیزیکی شیمیایی

مقدمه

همکاران (۲۰۰۸). آبمیوه زرشک حاوی آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی است و پودر به دست آمده از آن نیز می‌تواند به عنوان منبع خوبی از این ترکیبات در نظر گرفته شود (شریفی و همکاران ۲۰۱۵). آلكالوئیدهایی با یک هسته

زرشک یکی از محبوبترین میوه‌های بومی ایران است و اغلب در تزئین غذاهای سنتی کاربرد دارد (شریفی و همکاران ۲۰۱۵). این میوه سرشار از ترکیبات فنلی است و در طب سنتی برای درمان اختلالات کبدی، معده، تصفیه خون و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد (آغباشلو و

صنعت غذا مورد استفاده قرار گرفته‌اند (ترونگ و همکاران ۲۰۰۵)، که در این میان، استفاده از مالتودکسترین در صنعت آرمیوه بیشترین کاربرد را دارد (نیوئلکایکل و همکاران ۲۰۱۲). مالتودکسترین یک پودر ارزان قیمت، حاصل از تجزیه نشاسته است و از واحدهای D-گلوکز تشکیل می‌شود که از طریق اتصالات گلیکوزیدی به یکدیگر متصل شده‌اند (فیست ۲۰۱۲). بسته به میزان هیدرولیز، مالتودکسترین‌ها بر حسب معادل دکستروز که بین ۲۰-۳ متغیر بوده، طبقه‌بندی می‌شوند (تونتول و توپاز ۲۰۱۷). مقدار معادل دکستروز بر ویژگی‌های پودر نهایی تأثیرگذار است. هرچقدر معادل دکستروز کمتر باشد، دمای انتقال شیشه‌ای افزایش و در نتیجه چسبندگی پودر نهایی کاهش می‌یابد (نیوئلکایکل و همکاران ۲۰۱۲). از سویی دیگر برخی از محققین به افزایش دانسیته پودر تولید شده به روش پاششی با کمک مالتودکسترین با معادل دکستروز بالا اشاره کرده‌اند (فضائلی و همکاران ۲۰۱۲). افزایش دانسیته موجب کاهش هزینه حمل و نقل و افزایش جریان‌پذیری هنگام تهیه نوشیدنی بازساخته می‌شود (شیشیری و چن ۲۰۱۷). همچنین با افزایش معادل دکستروز زنجیره گلوکزی کوتاه‌تر شده و شیرینی نهایی بیشتر می‌شود (موروجزان و ارست ۲۰۱۱). عزیز طائمه و همکاران (۱۳۸۴) جهت خشک کردن پاششی آب انار با درجه بریکس ۱۵/۵ و pH=۳، استفاده از مالتودکسترین با معادل دکستروز ۶ را برای تولید پودری با کیفیت، مناسب اعلام نمودند. گولا و آدامپولوس (۲۰۰۸) مالتودکسترین با معادل دکستروزهای ۶، ۱۲ و ۲۱ را به عنوان مواد حامل برای خشک کردن پاششی پالپ گوجه‌فرنگی به کار بردند. گزارشات حاکی از آن بود که دانسیته توده با افزایش معادل دکستروز بیشتر شد و افزایش مقدار مالتودکسترین با معادل دکستروز کمتر موجب کاهش جذب رطوبت و درجه کلوخه‌ای شدن گردید.

دمای ورودی خشک کردن پاششی بسته به نوع محصول متفاوت است و دستیابی به شرایط دمایی بهینه یکی از

ایزوکینولین^۱ (مانند بربرین، اکسیاکانتین، برامین و پلاماتین)^۲ در زرشک بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را دارند (محمدی و همکاران ۱۳۹۲). همچنین حضور آنتوسیانین‌ها به عنوان ترکیبات رنگی طبیعی در میوه زرشک امکان جایگزینی آن را با رنگ‌های زیانبار شیمیایی در صنایع غذایی فراهم می‌کند (کافی و بالندری ۱۳۸۱).

تبدیل آرمیوه به پودر فواید زیادی دارد؛ از آن جمله می‌توان به کاهش حجم، وزن و هزینه بسته‌بندی، حمل و نقل راحت‌تر و افزایش ماندگاری محصول اشاره کرد (سفیولا و همکاران ۲۰۱۶). روشی که در جدا کردن آب میوه و تبدیل آن به پودر مورد استفاده قرار می‌گیرد بر کیفیت نهایی محصول مؤثر است. به طور کلی در میان روش‌های خشک کردن، استفاده از خشک‌کن‌های پاششی روشی معمول و مقرون به صرفه در صنعت غذا محسوب می‌شود. این روش شامل اتمیزه کردن محلول به قطرات ۲۰-۳۰۰ میکرومتر است که در مرحله بعد در معرض هوای داغ قرار می‌گیرند و با توجه به اینکه زمان توقف غذا در خشک‌کن‌های پاششی صنعتی حدود ۱۰-۳ ثانیه است، مواد حساس به حرارت نیز با استفاده از این روش با افت کیفی کمتری مواجه خواهند شد (میچالسکا و همکاران ۲۰۱۵؛ سامبورسکا و همکاران ۲۰۱۵).

پایین بودن دمای انتقال شیشه‌ای^۴ ترکیبات اصلی (قندهایی با وزن مولکولی کم و اسیدهای آلی)، جاذب-الرطوبه بودن آن‌ها، نقطه ذوب پایین و حلالیت در آب، خشک کردن عصاره و آب میوه را با مشکل رو به رو می‌کند و منجر به تولید رسوبات چسبناک بر دیواره خشک‌کن پاششی می‌شود (فراری و همکاران ۲۰۱۲). استفاده از مواد کمکی با وزن مولکولی بالا (حامل) می‌تواند دمای انتقال شیشه‌ای را افزایش و میزان چسبندگی به دیواره را کاهش دهد (سامبورسکا و همکاران ۲۰۱۵). تاکنون کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های مختلف مانند مالتودکسترین، صمغ عربی، ایزوله پروتئین سویا، سدیم-کازئینات و پروتئین‌های گیاهی و ... به عنوان حامل در

^۱ Atomization

^۴ Glass transition temperature

^۱ Isoquinoline

^۲ Berberin, Oxyaconthine, Berbamin, Palmatine

فراوری نمونه‌ها

کنسانتره زرشک با استفاده از آب مقطر تا رسیدن به درجه بریکس ۱۲ رقیق گردید. ۱۲ درصد (وزنی/حجمی) مالتودکسترین به عنوان نسبت ثابتی از حامل به نمونه‌ها افزوده شد. بعد از اختلاط کامل، نمونه‌ها به مدت یک شب (۲۴ ساعت) جهت جذب آب و فرصت کافی برای برقراری اتصالات بین حامل و اجزای آب زرشک، در دمای 4 ± 2 درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند. خشک‌کردن توسط خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی مدل بوشی بی ۱۹۱ ساخت سوئیس انجام شد. سرعت اسپراتور^۲ ۶۰ درصد، سرعت جریان هوای اتمایزر^۳ ۱۵ درصد و دمای هوای ورودی ۱۳۰ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب گردید. پودرهای تولید شده در بطری‌های شیشه‌ای تیره بسته‌بندی شده و تا زمان انجام آزمون‌ها در دسیکاتور نگهداری شدند.

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی

رطوبت از طریق خشک‌کردن در آون تحت خلاء در ۷۰ درجه سانتی‌گراد (انجمن رسمی تجزیه شیمیایی ۲۰۰۶) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری دانسیته توده ۲ گرم نمونه پودری داخل استوانه مدرج ۱۰ میلی‌لیتری ریخته شد. استوانه مدرج به مدت یک دقیقه روی لرزاننده قرار گرفت و سپس حجم اشغال‌شده خوانده شد. دانسیته توده از نسبت وزن پودر به حجم، بر حسب گرم بر میلی‌لیتر به دست آمد (فضائلی و همکاران ۲۰۱۲).

جهت اندازه‌گیری میزان جاذب‌الرطوبه بودن، ۱ گرم پودر تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد، گرمخانه‌گذاری شد. بعد از ۷ روز نمونه‌ها توزین و میزان جذب رطوبت به صورت درصد گزارش گردید (زتارلی و همکاران ۲۰۱۷).

مقدار آنتوسیانین کل به روش pH افتراقی محاسبه شد. اساس این روش تغییر ساختاری برگشت‌پذیر آنتوسیانین‌ها از فرم رنگی در $\text{pH}=1$ به فرم بی‌رنگ در

مهمترین عوامل تأثیرگذار بر کیفیت نهایی پودر به دست آمده محسوب می‌شود (فضائلی و همکاران ۲۰۱۲). افزایش دما موجب از دست رفتن مواد مغذی و تجزیه ترکیبات رنگی می‌شود، از طرفی استفاده از دمای ورودی پایین نیز موجب خشک‌شدن ناکافی شده و شرایط را برای تولید پودر چسبناک فراهم می‌کند (شیشیری و چن ۲۰۱۷). احمدی راد و همکاران (۱۳۹۵) از مالتودکسترین با معادل دکستروز ۶ و دمای ورودی ۱۱۰ تا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، جهت تولید پودر زغال اخته به روش پاششی استفاده کردند. آن‌ها گزارش نمودند که افزایش دما هرچند باعث افزایش راندمان گردید؛ ولی حلالیت، محتوای رطوبت، دانسیته ظاهری، مقدار آنتوسیانین کل^۱ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در پودر تولیدشده کاهش داد. فراری و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی خواص فیزیکی-شیمیایی پودر توت سیاه به افزایش جاذب‌الرطوبه بودن و تشکیل ذرات بزرگتر با سطوح صاف در اثر افزایش دمای ورودی خشک‌کن پاششی اشاره کردند.

تاکنون در خصوص استفاده از مالتودکسترین با معادل دکستروز متفاوت جهت تولید پودر نوشیدنی زرشک مطالعه‌ای صورت نگرفته‌است. لذا هدف از این تحقیق، تولید و بررسی برخی مشخصات فیزیکی شیمیایی پودر نوشیدنی بر پایه زرشک توسط خشک‌کردن پاششی است که در آن از مالتودکسترین با معادل دکستروز ۷-۴ و ۱۶/۵-۱۹/۵ به عنوان ماده کمکی استفاده شده است. همچنین به دلیل اهمیت دمای ورودی بر خواص کیفی پودر، اثر دو دمای ۱۳۰ و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد جهت خشک‌کردن، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

کنسانتره زرشک بدون دانه با بریکس ۶۵ از شرکت خوشه سرخ شهرستان قاین تهیه شد. مالتودکسترین با معادل دکستروز ۷-۴ و ۱۶/۵-۱۹/۵ از شرکت سیگما آلدریج آمریکا و سایر مواد آزمایشگاهی با درجه‌ی تجزیه‌ای از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

³- Atomizer

¹- Total anthocyanin content

²- Aspirator

ریزساختار پودر تولیدشده با استفاده از تصاویر اسکن-شده توسط میکروسکوپ الکترونی (تسکن میرا ۳، جمهوری چک) بررسی گردید. به این ترتیب که مقداری نمونه با لایه نازکی از طلا تحت خلاء پوشانده شد تا سطحی بازتابنده برای پرتو الکترون ایجاد کند. نمونه‌ها زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی $\times 5000$ مشاهده شدند (فضائی و همکاران ۲۰۱۲).

پراش اشعه ایکس با استفاده از پراش سنج (یونیزنتیس، XMD ۳۰۰، آلمان) انجام شد. نمونه در یک نگهدارنده آلومینیومی قرار گرفت. پراش سنج در انرژی ورودی ۳۰ میلی آمپر و ۴۰ کیلوولت به کار انداخته شد. پراش نگاشت‌ها بین ۵ و ۶۰ درجه با زاویه گام 0.02 درجه و سرعت اسکن ۱ ثانیه در هر گام گرفته شد. آشکارساز با توقف در هر گام شدت اشعه ایکس را در طول مسیر ثبت کرد (کاپارینو و همکاران ۲۰۱۲).

آنالیز آماری

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار spss16 استفاده شد. معنی‌دار بودن نتایج حاصل از بررسی فاکتورهای مختلف پودرهای تولیدی در قالب طرح فاکتوریل با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه صورت پذیرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح $P < 0.05$ استفاده شد. لازم به ذکر است، در تمامی موارد آنالیز روی سه تکرار برای هر تیمار انجام گرفت.

بحث و نتایج

همانطور که در مبحث مواد و روش‌ها اشاره گردید ابتدا کنسانتره میوه زرشک به آب‌میوه با بریکس ۱۲ تبدیل گردید، برخی از خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آن در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

بررسی خصوصیات فیزیکی-شیمیایی پودرهای تولیدی

محتوای رطوبتی عامل مهمی بر میزان پایداری پودر نهایی است. به طور کلی، مقدار رطوبت در پودرهای تولید شده با روش پاششی بین ۵-۲ درصد است که تحت این

است. نمونه‌های پودری با آب مقطر حل شده و در 14000g سانتریفیوژ (هرمل، آلمان) شدند. دو رقت از سوپرناتانت قرمز با استفاده از سیستم‌های بافری پتاسیم‌کلراید 0.2 مولار ($\text{pH}=1$) و سدیم استات 0.2 مولار ($\text{pH}=4.5$) تهیه شد؛ سپس در دو طول موج 520 و 700 نانومتر میزان جذب (اسپکتروفوتومتر، فرابنفش-مرئی، مدل هاچ، آمریکا) یکبار با بافر اول ($\text{pH}=1$) و بار دیگر با بافر دوم ($\text{pH}=4.5$) قرائت شد. آنتوسیانین غالب سیانیدین-۳-گلیکوزید^۱ بود که طول موج حداکثر جذب آن 520 نانومتر است. میزان آنتوسیانین کل طبق روابط زیر محاسبه گردید (امام جمعه و همکاران ۲۰۱۶):

$$A = (A_{520} - A_{700})\text{pH}_1 - (A_{520} - A_{700})\text{pH}_{4.5} \quad [1]$$

$$\text{TAC} = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 100}{\text{MA}} \quad [2]$$

(A) جذب نمونه رقیق‌شده، TAC میزان آنتوسیانین کل، MW وزن مولکولی ($449/2$) آنتوسیانین غالب، DF ضریب رقت (۱۰) و MA جذب مولی آنتوسیانین غالب (26900) می‌باشد. نتایج به صورت میلی‌گرم سیانیدین-۳-گلیکوزید در 100 میلی‌لیتر آب‌میوه گزارش شد.

جهت رنگ‌سنجی نمونه‌ها، ۳ گرم پودر اسکن (کنون، LiDE ۲۲۰، ژاپن) شد. تصاویر اسکن شده توسط نرم افزار ایمیج جی^۲ مورد تحلیل قرار گرفت. اساس رنگ-سنجی در این بررسی سنجش شاخص‌های L^* ، a^* و b^* بود که به ترتیب نشان‌دهنده روشنی، رنگ سبز تا قرمز و آبی تا زرد هستند (مستری و همکاران ۲۰۱۱).

دمای انتقال شیشه‌ای نمونه‌های پودر زرشک با استفاده از کالریمتری روبشی افتراقی^۳ (مدل STA، آلمان) تعیین شد. گاز خالص به کار برده شده آرگون بود و جهت کالیراسیون دما و جریان گرمایی از پرکلرات پتاسیم، کربنات استرانسیوم، طلا و سیلیسیوم‌دی‌اکسید استفاده گردید. ۴-۷ میلی‌گرم نمونه داخل ظرف‌های آلومینیومی، مهر و موم شده و از ۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه اسکن گردیدند (کاپارینو همکاران ۲۰۱۲).

³- Differential scanning calorimetry

¹- Cyanidin-3-glucoside

²- ImageJ

دما سرعت انتقال حرارت به ذرات در طی زمان خشک-کردن افزایش یافته و ذرات نهایی رطوبت بیشتری را از دست می‌دهند (کوئک و همکاران ۲۰۰۷). همچنین مقدار رطوبت در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش معادل دکستروز کاهش یافت و در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار این پارامتر با افزایش معادل دکستروز بیشتر شد (جدول ۲) که دلیل آن می‌تواند افزایش تمایل قندهای کوچک به جذب رطوبت در دمای بالاتر در مقایسه با قندهای بزرگتر باشد (امام جمعه و همکاران ۲۰۱۶). همانطور که در جدول ۲ گزارش شده است دانسیته توده

شرایط تجزیه اکسیداتیو و فعالیت میکروبی کاهش می‌یابد (شیشیری و چن ۲۰۱۷). رطوبت کمتر چسبندگی پودر را کاهش می‌دهد و سطح بیشتری را جهت تماس با آب هنگام بازسازی فراهم می‌کند (فضائلی و همکاران ۲۰۱۲). بر اساس آنالیز آماری تأثیر دمای ورودی و معادل دکستروز و تأثیر متقابل دما-معادل دکستروز بر مقدار رطوبت نمونه‌ها معنی‌دار بود ($P < 0.05$). افزایش دما موجب کاهش رطوبت شد (جدول ۲)، زیرا با افزایش

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار خواص فیزیکی شیمیایی آبمیوه زرشک رقیق شده با آب مقطر

درجه بریکس	دانسیته ظاهری (گرم بر میلی‌لیتر)	اسیدیته (درصد اسیدمالیک)	آنتوسیانین کل (میلی‌گرم در ۱۰۰ ملی‌لیتر)	L*	a*	b*
۰±۱۲/۰۱	۳/۰±۰۹/۰۱۵	۱/۰±۰۳۷/۰۰۰۵	۸/۰±۰۷۵/۰۰۵	۱۸/۰±۰۵۹/۴۱	۲۴/۰±۰۵/۶	۲۲/۰±۰۳۴/۵۷

آب زرشک

همکاران در سال ۲۰۰۷ به بررسی جذب رطوبت مالتودکسترین کاساوا پرداخته و گزارش دادند با افزایش معادل دکستروز میزان جاذب‌الرطوبه بودن افزایش یافت. محققین در بررسی اثر نوع حامل بر ویژگی‌های فیزیکی پودر تمبر هندی، دلیل افزایش جذب رطوبت در نمونه‌هایی که حاوی مالتودکسترین با معادل دکستروز بالاتر بودند را وزن مولکولی کمتر و دمای انتقال شیشه‌ای پایین‌تر عنوان نمودند (بوساری و همکاران ۲۰۱۷). محتوای رطوبتی کمتر نمونه‌های پودر زرشک تولید شده در دمای ورودی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد (جدول ۲) دلیلی بر تمایل بیشتر جذب رطوبت در پودر نهایی است، زیرا هرچه رطوبت محصول کمتر باشد تمایل برای جذب رطوبت نیز افزایش خواهد یافت (کاپارینو و همکاران ۲۰۱۲).

بر اساس نتایج به دست آمده آنتوسیانین تحت تأثیر دمای ورودی و مقدار معادل دکستروز قرار گرفت (جدول ۲). در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش معادل دکستروز میزان آنتوسیانین کل کمتر گردید ($P < 0.05$)، اما در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد میزان معادل دکستروز تفاوت معنی‌داری در محتوای

با افزایش دما کاهش یافت ($P < 0.05$). به طور کلی با افزایش دما به دلیل تشکیل پوسته مقاوم‌تر در اطراف ذرات، تخلخل ایجاد شده پایدارتر و در نتیجه دانسیته توده کمتر می‌شود (والتون ۲۰۰۰). دانسیته توده در دمای بالا با افزایش معادل دکستروز تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P \geq 0.05$) ولی در دمای پایین با افزایش معادل دکستروز از ۰/۳۳۹ به ۰/۲۴۶ (گرم بر میلی‌لیتر) کاهش یافت، که با نتایج گولا و آدامپولوس (۲۰۰۸) در بررسی خواص فیزیکی شیمیایی پودر پالپ گوجه‌فرنگی همراه با مالتودکسترین با معادل دکستروز ۶، ۱۲ و ۲۱ متضاد بود. این نتیجه ممکن است به دلیل رطوبت بیشتر پودر تهیه شده با معادل دکستروز پایین در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد (جدول ۲)؛ که با افزایش رطوبت در پودر تولید شده، میزان هوای به دام افتاده کمتر و در نتیجه دانسیته توده افزایش خواهد یافت (فضائلی و همکاران ۲۰۱۲).

جاذب‌الرطوبگی توانایی جذب آب در رطوبت نسبی بالا را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ افزایش دمای ورودی و معادل دکستروز منجر به تولید پودری با قابلیت جذب رطوبت بیشتر گردید ($P < 0.05$). ژنگ و

دکستروز، دمای ورودی و تأثیر متقابل معادل دکستروز-دمای ورودی بر روی مقدار L^* ، a^* و b^* معنی‌دار بود ($P < 0.05$). شکل ۱ نشان می‌دهد که در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد با افزایش معادل دکستروز شدت روشنایی افزایش یافت این در حالی است که در دمای بالاتر افزایش معادل دکستروز تأثیری در شدت روشنایی نداشت.

با افزایش معادل دکستروز در دمایی پایین مقدار a^* و b^* کاهش یافت که می‌تواند به دلیل افزایش تخلخل و حضور اکسیژن بیشتر در این فضاهای خالی باشد که منجر به شروع واکنش‌های اکسیداسیون و در نتیجه کاهش شاخص‌های مذکور می‌شود (زتارلی و همکاران ۲۰۱۷).

آنتوسیانین کل ایجاد نکرد ($P \geq 0.05$). براساس نتایج بدست آمده در تصاویر اسکن شده میکروسکوپ الکترونی (شکل ۲)، با افزایش میزان معادل دکستروز تخلخل و چروکیدگی در سطح ذرات پودر بیشتر مشاهده شد، این سطح ناصاف در مقایسه با نمونه حاوی معادل دکستروز پایین افزایش نفوذپذیری و تماس اکسیژن با آنتوسیانین را افزایش داده و از میزان آنتوسیانین کل کاسته است. تحقیق فضائی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی خشک کردن توت سیاه نتایج مشابه‌ای با تحقیق حاضر نشان داد.

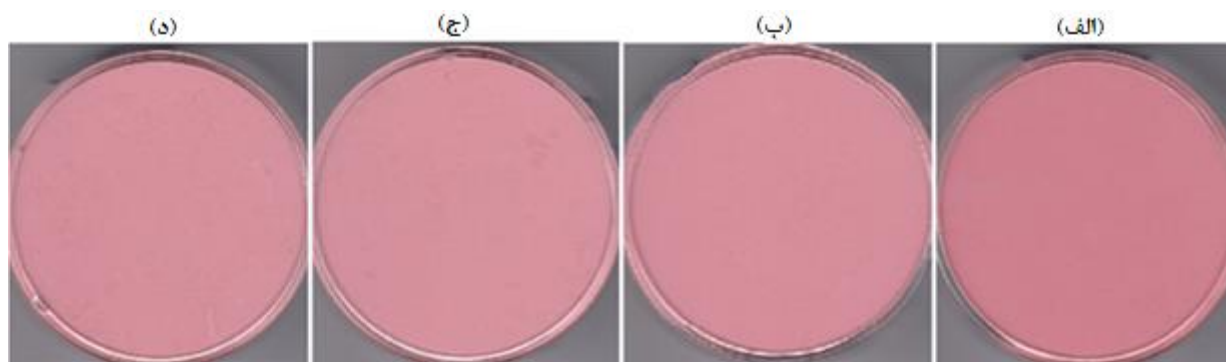
رنگ پودر به دست آمده تعیین‌کننده رنگ آبمیوه بازساخته است و نقش مهمی در پذیرش محصول دارد. ارزیابی رنگ نمونه‌ها نشان داد تأثیر مقدار معادل

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار مقادیر خواص فیزیکی-شیمیایی اندازه‌گیری شده

تیمار	رطوبت (درصد)	دانسیته توده (گرم بر میلی-لیتر)	میزان جذب رطوبت (درصد)	آنتوسیانین کل (میلی-گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	پارامترهای رنگ‌سنجی		
					L^*	a^*	b^*
۱	۵/۰±۵۲/۱۲ ^a	۰/۰±۳۳۹/۰۱۸ ^a	۲۲/۰±۸۴/۱۲ ^c	۴/۰±۶۸/۰۱ ^a	۶۱/۰±۷۶/۰۹ ^c	۳۲/۰±۱۹/۱۵ ^a	۵/۰±۹/۰۸ ^a
۲	۴/۰±۲۹/۱ ^b	۰/۰±۲۴۶/۰۰۳ ^b	۲۴/۰±۶۷/۰۸ ^b	۴/۰±۴۷/۰۲ ^c	۶۶/۰±۷۴/۱۶ ^a	۲۸/۰±۷۹/۰۶ ^b	۳/۰±۹۹/۱۸ ^b
۳	۳/۰±۳۴/۰۹ ^d	۰/۰±۲۴۰/۰۰۲ ^b	۲۶/۰±۱۵/۰۵ ^a	۴/۰±۶۲/۰۲ ^b	۶۷/۰±۳۴/۱۱ ^{ab}	۲۷/۰±۳۵/۱۱ ^d	۳/۰±۹۴/۲۲ ^b
۴	۳/۰±۷۴/۰۹ ^c	۰/۰±۲۴۴/۰۰۱ ^b	۲۵/۰±۰۳/۰۳ ^a	۴/۰±۵۹/۰۲ ^b	۶۷/۰±۱۸/۱۱ ^b	۲۷/۰±۶۰/۱۲ ^c	۳/۰±۹۸/۲۲ ^b

حروف لاتین متفاوت در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

تیمار ۱- آب زرشک با بریکس ۱۲+۱۲ درصد مالتودکستروز با معادل دکستروز ۷-۴، دمای ورودی ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد؛ تیمار ۲- آب زرشک با بریکس ۱۲+۱۲ درصد مالتودکستروز با معادل دکستروز ۱۹/۵-۱۶/۵، دمای ورودی ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد؛ تیمار ۳- آب زرشک با بریکس ۱۲+۱۲ درصد مالتودکستروز با معادل دکستروز ۷-۴، دمای ورودی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد؛ تیمار ۴- آب زرشک با بریکس ۱۲+۱۲ درصد مالتودکستروز با معادل دکستروز ۱۹/۵-۱۶/۵، دمای ورودی ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۱- تصاویر اسکن شده از نمونه پودر زرشک حاوی مالتودکستروز با معادل دکستروز ۷-۴، دمای هوای ورودی ۱۳۰ (الف) و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد (ب) با معادل دکستروز ۱۹/۵-۱۶/۵، دمای هوای ورودی ۱۳۰ (ج) و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد (د)

اتصال محکمی با یکدیگر برقرار کرده‌اند و یکپارچگی بیشتری قابل مشاهده است. اتصالات محکم و پایدار در حفظ ترکیبات مغذی از جمله آنتوسیانین مؤثر خواهد بود.

کاهش یکپارچگی در دمای بالاتر با افزایش تخلخل و کاهش دانسیته همراه است (کانوچوکا و همکاران ۲۰۰۵). همچنین با افزایش دمای ورودی، اندازه ذرات متنوع و اتصالات بین آن‌ها سست‌تر شده است. افزایش چروکیدگی سطوح نیز در دمای بالا مشهود است.

جدول ۳- دمای انتقال شیشه‌ای نمونه‌های پودر زرشک

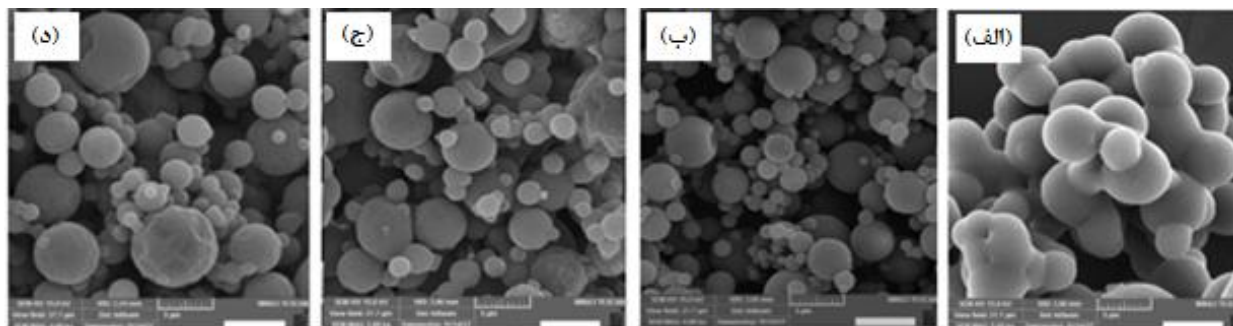
تولید شده به روش پاششی

دمای انتقال شیشه‌ای (درجه سانتی‌گراد)	دمای هوای ورودی (درجه سانتی‌گراد)	تیمار
۴۷/۱	۱۳۰	۱
۵۷	۱۳۰	۲
۵۰/۱	۱۵۰	۳
۴۵/۳	۱۵۰	۴

تیمار ۱-آب زرشک با بریکس ۱۲+۱۲ درصد مالتودکسترین با معادل دکستروز ۷-۴، تیمار ۲- آب زرشک با بریکس ۱۲+۱۲ درصد مالتودکسترین با معادل دکستروز ۵-۱۹/۵-۱۶/۵، تیمار ۳- آب زرشک با بریکس ۱۲+۱۲ درصد مالتودکسترین با معادل دکستروز ۷-۴، تیمار ۴- آب زرشک با بریکس ۱۲+۱۲ درصد مالتودکسترین با معادل دکستروز ۵-۱۹/۵-۱۶/۵

دمای انتقال شیشه‌ای، دمایی است که در آن مواد از حالت شکننده و شیشه‌ای به حالت لاستیکی و چسبناک تغییر فاز می‌دهند. بنابراین با افزایش دمای انتقال شیشه‌ای میزان چسبندگی پودر نیز کاهش می‌یابد (سامبورسکا و همکاران ۲۰۱۵). جدول ۳ نشان می‌دهد دمای انتقال شیشه‌ای در دمای پایین خشک کردن با افزایش معادل دکستروز افزایش یافت که با گزارشات گولا و آدامپولوس (۲۰۰۸) در بررسی پودر پالپ گوجه فرنگی و فضائلی و همکاران (۲۰۱۲) بر روی توت سیاه متضاد بود. این محققین دلیل افزایش دمای انتقال شیشه‌ای پودرهای حاصله در اثر افزایش معادل دکستروز را وزن مولکولی بیشتر عنوان نمودند. اما باید توجه داشت که رطوبت، دما و اجزای تشکیل‌دهنده محصولی که قرار است خشک شود بر دمای انتقال شیشه‌ای نقش بسیار مؤثری دارند. دمای انتقال شیشه‌ای آب بسیار پایین است (-135°C) و حضور مقدار کمی از آن برای کاهش شدید دمای انتقال شیشه‌ای پودر تولید شده کفایت می‌کند (شیشیری و چن ۲۰۱۷). بنابراین، دلیل کم بودن دمای انتقال شیشه‌ای در تیمار ۱ می‌تواند محتوای رطوبت بیشتر باشد.

با توجه به تصاویر اسکن شده توسط میکروسکوپ الکترونی (شکل ۲)، ذرات پودری حاوی مالتودکسترین با معادل دکستروز پایین در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۲- تصاویر اسکن شده میکروسکوپ الکترونی از نمونه پودر زرشک حاوی مالتودکسترین با معادل دکستروز ۷-۴، دمای هوای ورودی ۱۳۰ (الف) و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد (ب) با معادل دکستروز ۵-۱۹/۵-۱۶/۵، دمای هوای ورودی ۱۳۰ (ج) و ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد (د)

افزایش مقدار معادل دکستروز اندازه ذرات بزرگتر و تخلخل بیشتر شد که مربوط به ساختار مولکولی مواد

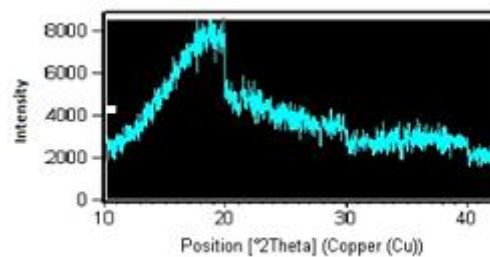
فضائلی و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی شرایط خشک-کردن توت سیاه به روش پاششی گزارش نمودند که با

ریز به سطح ذرات بزرگتر (شکل ۲) نشان‌دهنده کاهش سطوح کریستالی و افزایش سطوح آمورف خواهد بود. این سطوح به دلیل تمایل زیادی که به جذب رطوبت محیط دارند چسبندگی در پودر تولید شده را افزایش می‌دهند (کانوچوکا و همکاران ۲۰۰۵).

نتیجه‌گیری

تأثیر معادل دکستروز بر پارامترهای مختلف اندازه‌گیری شده در دماهای مختلف متفاوت بود. در دمای پایین با افزایش معادل دکستروز مقدار رطوبت کاهش یافت. جاذب‌الرطوبه بودن پودرها با افزایش محتوای رطوبتی کم شد. افزایش معادل دکستروز منجر به کاهش اندیس a^* گردید. بررسی مورفولوژیکی ذرات نشان داد با افزایش دما تخلخل افزایش یافت. پراش اشعه ایکس نیز حضور سطوح آمورف را برای ذرات پودری تولید شده تأیید کرد. استفاده از مالتودکستروز با معادل دکستروز پایین و دمای ورودی ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد منجر به تولید پودر بهتری از نظر رنگ و مقدار آنتوسیانین گردید ولی محصول نهایی از میزان رطوبت بیشتری نیز برخوردار بود. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از ترکیب مالتودکستروز با معادل دکستروز متفاوت (مخلوطی از معادل دکستروز بالا و پایین) به عنوان حامل بتواند موجب بهینه‌شدن پودر تولید شده از نظر تمامی خواص فیزیکی شیمیایی گردد.

حامل است. در مطالعه دیگری محققین دلیل افزایش چروکیدگی در اثر افزایش دمای هوای ورودی را در پودر تمبر هندی، تشکیل ذراتی با اندازه بزرگتر اعلام کردند که می‌تواند جداسدن آب را مشکل کرده و منجر به تولید ذراتی با سطح ناصاف شود (بوساری و همکاران ۲۰۱۴). پراش اشعه ایکس یک روش معمول برای تعیین کردن موقعیت آمورف-کریستالی مواد خشک شده به شکل پودر است. حضور پیک‌های بزرگ و پهن در پروفایل اشعه ایکس نشان‌دهنده موقعیت آمورف می‌باشد (کاپارینو و همکاران ۲۰۱۲). شکل ۳ مشخصات پراش اشعه ایکس مربوط به تیمار ۱ را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مشخصات پراش اشعه ایکس نمونه پودر زرشک حاوی مالتودکستروز با معادل دکستروز ۷-۴ (دمای هوای ورودی ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد)

به طور کلی خشک شدن سریع در روش پاششی به دلیل نبود زمان کافی جهت کریستاله شدن منجر به تشکیل سطوح آمورف با اشکال نامنظم می‌شود. چسبیدن ذرات

منابع مورد استفاده

- احمدی راد م. امام جمعه ز و اسدی حسن، ۱۳۹۵. بهینه سازی فرآیند خشک کردن پاششی آب زغال اخته با استفاده از روش سطح پاسخ، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۱۳، ۶۷-۷۸.
- عزیز طائمه ح، کاظمی الف و رضوی ج، ۱۳۸۴. خشک کردن آب انار با روش پاششی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، ۲، ۶۶-۵۹.
- کافی م و بالندری الف، ۱۳۸۱. زرشک: فناوری تولید و فرآوری، دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات زبان و ادب، مشهد.
- محمدی م، مسکوکی ع، مرتضوی س، نهاردانی م، پورفلاح ز و صادقیان ع، ۱۳۹۲. پایداری حرارتی روغن سویا توسط آنتی اکسیدانهای طبیعی استخراج شده از میوه زرشک بی دانه به وسیله آب مادون بحرانی، مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران، ۸، ۱۱۳-۱۲۴.

Aghbashlo M, Kianmehr MH and Samimi-Akhijahani H, 2008. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (Berberidaceae). *Energy Conversion and Management* 49: 2865-2871.

Association of Official Analytical Chemists, 2006. *Official Methods of Analysis*, 18th ed, AOAC, Gaithersburg, MD.

- Bhusari SN, Muzaffar K and Kumar P, 2014. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology* 266: 354–364.
- Cano-Chauca M, Stringheta PC, Ramos AM and Cal-Vidal J, 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6: 420-428.
- Caparino OA, Tang J, Nindo, CI, Sablani SS, Powers JR and Fellman JK, 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine “Carabao” var.) powder. *Journal of Food Engineering* 111:135–148.
- Emam jomeh Z, Seddighi-pashaki A and Askari GR, 2016. Influence of process condition on the functional properties of spray-dried seedless black barberry (*Berberis Vulgaris*) juice powder. *Journal of Food Processing and Preservation* 40: 1-11.
- Fazaeli M, Emam-Djomeh Z, Ashtari AK and 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.
- Ferrari CC, Germer SPM and de-Aguirre JM, 2012. Effects of Spray-Drying Conditions on the Physicochemical Properties of Blackberry Powder. *Drying Technology* 30: 154–163.
- Goula AM and Adamopoulos KG, 2008. Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: II. Powder Properties. *Drying Technology* 26: 726–737.
- Jiménez-Aguilar DM, Ortega-Regules AE, Lozada-Ramírez JD, Pérez-Pérez MCI, Vernon-Carter EJ and Welti-Chanes J, 2011. Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material. *Journal of Food Composition and Analysis* 24: 889-894.
- Mestry AP, Mujumdar AS and Thorat BN, 2011. Optimization of Spray Drying of an Innovative Functional Food: Fermented Mixed Juice of Carrot and Watermelon. *Drying Technology* 29: 1121–1131.
- Michalska A, Wojdylo A, Lech K, Lysiak G and Figiel A, 2016. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry* 1-25.
- Murugesan R and Orsat V, 2011. Spray drying of elderberry (*Sambucus nigra L.*) juice to maintain its phenolic content. *Drying Technology* 29: 1729-1740.
- Nualkaekul S, Deepika G and Charalampopoulos D, 2012. Survival of freeze dried *Lactobacillus plantarum* in instant fruit powders and reconstituted fruit juices. *Food Research International* 48: 627–633.
- Phisut N, 2012. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal* 19: 1297-1306.
- Quek SY, Chok NK and Swedlund P, 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46: 386-392.
- Saifullah M, Yusof WA, Chin NL and Aziz MG, 2016. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. *Powder Technology* 1-33.
- Samborska K, Gajek P and Kamińska-Dwórznicza A, 2015. Spray Drying of Honey: The Effect of Drying Agents on Powder Properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 65: 109–118.
- Sharifi A, Niakousari M, Maskooki A and Mortazavi SA, 2015. Effect of spray drying conditions on the physicochemical properties of barberry (*Berberis vulgaris*) extract powder. *International Food Research Journal* 22: 2364-2370.
- Shishir MRI and Chen W, 2017. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology* 65: 49-67.
- Tontul I and Topuz A, 2017. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. *Trends in Food Science & Technology* 63: 91-102.
- Truong V, Bhandari BR and Howes T, 2005. Optimization of cocurrent spray drying process for sugar-rich foods. Part II—Optimization of spray drying process based on glass transition concept. *Journal of Food Engineering* 71: 66-72.
- Walton DE, 2000. The morphology of spray-dried particles, a qualitative view. *Drying Technology* 18: 1943–1986.

- Yousefi S, Emam-Djomeh Z and Mousavi SM, 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.
- Zheng M, Jin Z and Zhang Y, 2007. Effect of cross-linking and esterification on hygroscopicity and surface activity of cassava maltodextrins. *Food chemistry* 103: 1375-1379.
- Zotarelli MF, da Silva VM, Durigon A, Hubinger MD and Laurindo JB, 2017. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. *Powder Technology* 305: 447-454.

Effect of maltodextrin dextrose equivalent and inlet air temperature on physicochemical properties of barberry fruit powder produced by spray drying

N Nadali¹, A Pahlevanlo^{2*}, M Sarabi Jamab² and A Balandary²

Received: July 1, 2018

Accepted: August 30, 2018

¹PhD Student, Department of Food Processing Research, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

²Assistant Professor, Department of Food Biotechnology Research, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

*Corresponding author: E mail: Pahlevanlobiotech@gmail.com

Abstract

Barberry fruit is rich in terms of nutritional principles such as antioxidants and phenolic compounds, and its powder could also be considered as an important source of these components. Spray drying is widely used to produce beverage powders. The carrier type and inlet temperature of spray dryer are the most important factors affecting the properties of resulted powder. In this study, the physicochemical properties of obtained barberry juice powder (Brix° 12) using 12% (w/v) maltodextrin with dextrose equivalents of 4-7 and 16.5-19.5 were investigated under two input air temperatures of 130 and 150 °C. Results indicated that at the temperature of 130 °C, with an increase in dextrose equivalent, moisture content decreased and bulk density and higroscopicity increased ($P<0.05$). Glass transition temperature of produced powders, at inlet temperature of 130 °C increased with enhancement of dextrose equivalent. Scanning electron microscopy presented that the bulk density raised with addition of dextrose equivalent. X-ray diffraction verified the presence of amorphous surfaces about obtained powders. Applying of maltodextrin with higher dextrose equivalent caused reduction in total anthocyanin content. The results of colorimetric assessment revealed that with an increase in dextrose equivalent, a* index decreased ($P<0.05$). Generally, the produced powder using fewer dextrose equivalent, under inlet temperature of 130 °C had better physicochemical characteristics.

Keywords: Barberry powder, Spray drying, Maltodextrin, Physicochemical properties