

تأثیر شرایط خشک کردن پاششی بر خواص فیزیکی شیمیایی، عملکردی و بازده تولید پودر عصاره مالت

سیدهادی پیغمبردوست*^۱ و خشایار سرابندی^۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۹

^۱ استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه: Email: peighambardoust@tabrizu.ac.ir

چکیده

در این مطالعه، تأثیر پارامترهای مختلفی نظیر دمای هوای ورودی خشک کن و غلظت مالتودکسترین بر بازده تولید، خواص فیزیکی شیمیایی، عملکردی و بازده تولید پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی مورد بررسی قرار گرفت. فرآیند تولید با استفاده از یک خشک کن پاششی در مقیاس پایلوت انجام شد. دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین متغیرهای فرآیند بودند، بدین ترتیب که از مالتودکسترین (DE=۱۸-۲۰) به عنوان کمک خشک کن در غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ (وزنی/وزنی) براساس وزن عصاره مالت و دماهای ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰°C در هوای ورودی و به صورت همسو با محلول خوراک برای خشک کردن استفاده گردید. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار هوای نازل به ترتیب در ۱۸۰۰۰ rpm، ۱۰ ml/min، ۱°C ± ۳۰ و ۱/۱ ± ۰/۴ بار ثابت نگاه داشته شدند. نتایج نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین، بازده تولید پودر، اندازه ذرات و تخلخل افزایش، در حالی که از مقدار رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، دانسیته توده حاصل از ضربه، دانسیته ذره، جاذب الرطوبه بودن و رنگ پودرها کاسته شد. در مجموع، دمای هوای ورودی بالاتر موجب افزایش انحلال پذیری پودرها گردید، اما با افزایش غلظت مالتودکسترین، این مقدار کاهش یافت. نهایتاً دمای هوای ۱۸۰°C و غلظت ۴۰٪ مالتودکسترین بهترین تأثیر را از نظر بازده مناسب، خواص فیزیکی شیمیایی و عملکردی قابل قبول بر تولید پودر عصاره مالت ارائه دادند.

واژگان کلیدی: بازده تولید، خشک کردن پاششی، خواص فیزیکی شیمیایی، پودر عصاره مالت، مالتودکسترین

مقدمه

خشک کردن پاششی یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده برای خشک کردن مواد غذایی مایع است. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های خشک کردن شامل تجهیزات در دسترس، هزینه‌های قابل قبول فرآیند، پایداری و کیفیت خوب محصول نهایی است. از جمله مزایای پودرها می‌توان به کاهش حجم و یا وزن محصول، سهولت در بسته بندی، جابجایی آسان‌تر، افزایش زمان ماندگاری به دلیل پایداری فیزیکی بالا و همچنین سهولت استفاده به عنوان یک جزء افزودنی اشاره نمود (فاوارو و همکاران ۲۰۱۰ و شرستا و همکاران ۲۰۰۷). از این جهت، امروزه خشک کردن پاششی از کاربردهای گسترده‌ای بویژه در صنایع غذایی، دارویی و ... برخوردار می‌باشد (آدهیکاری و همکاران ۲۰۰۴ و ما و همکاران ۱۹۹۸).

عصاره مالت فرآورده‌ای است که از تبخیر و تغلیظ عصاره آبی دانه‌های غلات خصوصاً جو که فرآیند مالت سازی را گذرانده‌اند، به دست می‌آید. فرآیند مالت سازی شامل جوانه زدن کنترل شده دانه‌های جو یا گاهی سایر غلات در شرایط کنترل شده دما و رطوبت نسبی و به دست آوردن مالت سبز و در نهایت خشک کردن آن است (پیغمبردوست ۱۳۸۸). بسته به خصوصیات محصول نهایی، برخی تغییرها و بهینه سازی‌ها در فرآیند تولید، آسیاب کردن، تغلیظ و خشک کردن صورت می‌گیرد. عصاره مالت در تولید آب‌نبات، آبجو، سس‌ها و صنایع نانوایی و قنادی، غذای کودک، شکلات، داروسازی و صنایع لبنی کاربردهای گسترده‌ای دارد. عصاره مالت تولید شده از مالت خشک شده در دمای پائین (دارای فعالیت آنزیمی) به عنوان منبع غنی از آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز و بتاگلوکونازها در صنایع پخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین موجب بهبود عطر و طعم، رنگ، حجم و ممانعت از بیاتی نان می‌گردد (پیغمبردوست ۱۳۸۸).

تبدیل مواد غذایی غنی از قند نظیر آبمیوه‌ها و عسل به پودر، به دلیل نرخ بازیابی پائین خشک کن‌ها با چالش‌های عمده‌ای مواجه است. بیشتر این مواد غذایی، چسبیده هستند. چسبندگی مواد غذایی غنی از قند و اسید به خاصیت ترموپلاستیکی قندهای با وزن مولکولی پائین و اسیدهای آلی موجود در این مواد نسبت داده می‌شود (ترونک و همکاران ۲۰۰۵ و آدهیکاری و همکاران ۲۰۰۳). دمای انتقال شیشه‌ای دمایی است که در آن انتقال از حالت شیشه‌ای (بلوری) به حالت لاستیکی (آمورف) رخ می‌دهد. این شاخص، مهم‌ترین عامل تعیین کننده امکان تبدیل یک ماده غنی از قند به پودر بوسیله فرآیند خشک کردن پاششی است (بی‌هاندری و هاوس ۱۹۹۹ و لانگریش و همکاران ۲۰۰۹). دمای نقطه چسبندگی حدود 20°C بیشتر از دمای انتقال شیشه‌ای مواد است و هنگامی که دمای سطح ذرات به بالاتر از دمای نقطه چسبندگی برسد، حالت چسبیده از خود نشان می‌دهند (آدهیکاری و همکاران ۲۰۰۷، روس ۱۹۹۵ و بی‌هاندری و هاوس ۱۹۹۹).

تلاش برای خشک کردن پاششی این مواد به دلیل رسوب در دیواره خشک کن‌ها با مشکلاتی مواجه است. پودرهایی که به دیواره خشک کن می‌چسبند، کل مدت زمان فرآیند را در شرایط داخل خشک کن باقی می‌مانند و نهایتاً دچار سوختگی یا پختگی می‌شوند. این عوامل سبب کاهش کیفیت محصول و افزایش خطر آتش سوزی می‌شود (آدهیکاری و همکاران ۲۰۰۳). بسیاری از پژوهشگران از مالتودکسترین و دیگر افزودنی‌ها به منظور کاهش چسبندگی محصولات خشک شده به روش پاششی استفاده نموده‌اند (آدهیکاری و همکاران ۲۰۰۴، کانو و همکاران ۲۰۰۵، چیداونزی و همکاران ۲۰۰۱ و رستم‌پور و همکاران ۲۰۰۶). مواد کمکی مورد استفاده در فرآیند خشک کردن پاششی عمدتاً بایستی دارای ویژگی‌هایی نظیر حلالیت بالا، قابلیت تشکیل فیلم، توانایی امولسیون‌کنندگی مؤثر، خواص خشک‌کنندگی

گردیدند؛ به گونه‌ای که غلظت ماده جامد کل در خوراک نهائی به ۴۰٪ بر اساس وزن خشک رسید.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های عصاره مالت مورد استفاده

ترکیب‌ها	مقدار
پروتئین (%)	۴/۶±۰/۱
دانسیته (kg/m ³)	۱/۴±۰/۲
رطوبت (%)	۱۶/۶±۰/۴
بریکس	۷۸±۰/۱
قند احیاء کننده (برحسب مالتوز) (%)	۵۵±۱
ماده جامد کل (%)	۸۳/۴±۰/۰۴

* نتایج میانگین ۳ تکرار هستند.

اغلب در گزارش‌های علمی مقدار مواد جامد قبل از تغذیه به دستگاه خشک کن پاششی در حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد در نظر گرفته شده است، که این مقدار بسته به نوع سیستم، ماده، کمک خشک کن و شرایط فرآیند متفاوت است (مسترز ۱۹۹۷). در این پژوهش نیز غلظت خوراک ورودی پس از انجام تیمارهای آزمایشی و با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از شرایط بهینه بین سایر پارامترها و زمان فرآیند ۴۰ درصد در نظر گرفته شد. برخی از ویژگی‌های شیمیایی عصاره مالت مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

خشک کردن پاششی

در این تحقیق از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس پایلوت (ساخت مهم صنعت، نیشابور) استفاده گردید (شکل ۱). محفظه خشک‌کن به صورت استوانه‌ای به قطر ۱ و ارتفاع ۲ متر بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی پریستالتیک با دبی تغذیه متغیر و ظرفیت حداکثر ۳ لیتر مایع در ساعت با فشار ۱ بار برای تغذیه خوراک به افشانه بود. فرآیند پاشش توسط اتمایزر چرخشی به قطر ۵ سانتی‌متر با قابلیت چرخش با هوای فشرده صورت گرفت. ۹ محصول در ۳ تکرار تولید و در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار اتمایزر با استفاده از نتایج حاصل از

کارآمد و ویسکوزیته پائین حتی در غلظت‌های بالای محلول باشند (ری ۱۹۹۸ و کوئک و همکاران ۲۰۰۷).

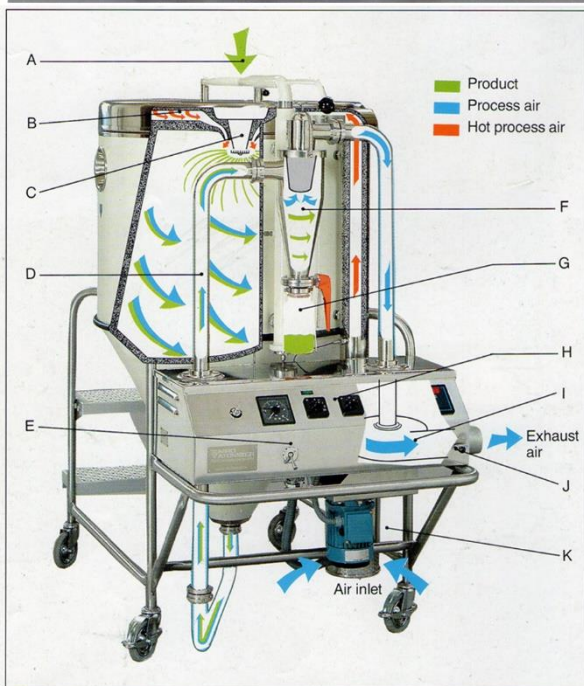
افزودن کمک خشک‌کن‌ها اغلب موجب افزایش دمای انتقال شیشه‌ای مخلوط می‌گردد و همچنین دمای نقطه چسبندگی کل مخلوط نیز بالا می‌رود. با افزایش دمای انتقال شیشه‌ای و به تبع آن افزایش دمای نقطه چسبندگی، میزان چسبندگی ذرات به بدنه خشک کن و افت محصول کاهش می‌یابد. در این مورد، افزایش غلظت مالتودکسترین با تشکیل لایه نازکی از یک فیلم غیرچسبنده در اطراف ذرات ماده جامد خوراک موجب کاهش چسبندگی بین ذرات و بین ذرات با دیواره خشک‌کن می‌گردد. آدهیکاری و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که افزایش غلظت مالتودکسترین در آب‌میوه‌ها موجب کاهش چسبندگی و مانع از کلوخه‌ای شدن پودرها در طول نگهداری می‌شود.

بر اساس اطلاعات بررسی شده، عصاره مالت در ایران توسط خشک کردن پاششی به پودر تبدیل می‌شود اما تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تأثیر شرایط و پارامترهای فرآیند خشک کردن پاششی بر خواص پودر عصاره مالت در جریان خشک کردن پاششی صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق ارزیابی تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر بازده تولید پودر، خواص فیزیکی نظیر مقدار رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، دانسیته حاصل از ضربه، دانسیته ذره، تخلخل، انحلال پذیری، جاذب الرطوبه بودن و شاخص‌های رنگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه محلول خوراک

عصاره مالت از شرکت (به مالت، شهرکرد) و مالتودکسترین از شرکت (پوران پودر سپاهان، اصفهان) به صورت مجزا در آب مقطر با دمای ۴۰°C و با استفاده از یک همزن مغناطیسی حل، سپس با یکدیگر مخلوط



شکل ۱- خشک کن پاششی مقیاس پایلوت با اجزاء تشکیل دهنده آن

A: خوراک ورودی، B: ورودی هوای دغ، C: اتمایزر چرخشی، D: ورود مخلوط هوا و پودر به سیکلون، E: شیر هوا، F: سیکلون، G: محصول خروجی از سیکلون، H: پانل کنترل دما، I: فن مکنده هوا، L: کنترل جریان هوا، K: هیتر برقی

تحقیقات پیشین، آزمون و خطاهای انجام گرفته و دستیابی به مجموعه‌ای از شرایط بهینه بازده تولید برای کلیه آزمون‌ها به مقدار ثابتی به ترتیب در ۱۸۰۰ rpm، ۱۰ ml/min، 30 ± 1 °C و 1 ± 0.1 bar نگاه داشته شدند. دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین متغیرهای فرآیند بودند، بدین ترتیب که خوراک با مالتودکسترین ($DE=18-20$) در غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد (وزنی-وزنی)، براساس وزن مرطوب عصاره مالت، تهیه و وارد خشک کن گردید. از هوای ورودی با دمای ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ °C و به صورت هم-سو با جریان تغذیه خوراک برای خشک کردن استفاده گردید.

دمای هوای خروجی در طول فرآیند خشک کردن، هر ۱ دقیقه تا رسیدن به مقدار ثابتی ثبت و پودر حاصل از خروجی اصلی تا رسیدن به دمای ثابت و ممانعت از تغییرات رطوبت در دسیکاتور قرار گرفت. محصول در شیشه‌های تیره تا انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری گردید. آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه قبل از شروع خشک کردن تا رسیدن دمای خشک‌کن به میزان ثابت، به عنوان خوراک به دستگاه داده شد.

بازده تولید پودر

بازده تولید محصول به صورت نسبت درصد جرمی محصول بدست آمده به جرم کل ماده جامد موجود در خوراک (بر حسب ماده خشک) و با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$y = \frac{w_2}{w_1} \times 100 \quad (1)$$

که در این فرمول: w_2 ، جرم محصول نهایی و w_1 ، جرم کل ماده جامد خوراک می‌باشند.

$$\varepsilon = \frac{(\rho_p - \rho_b)}{\rho_s} \quad (۳)$$

در این فرمول، ε (تخلخل)، ρ_p (دانشیته ذره)، ρ_b (دانشیته توده) پودر می‌باشند.

اندازه‌گیری شاخص انحلال‌پذیری

۱ گرم پودر به دقت به ۱۰۰ ml آب مقطر تحت شرایط هم زدن با یک همزن مغناطیسی در ۳۸۵ rpm به مدت ۵ دقیقه اضافه گردید. دیسپرسیون حاصل در ۳۰۰۰×g برای ۵ دقیقه سانتریفوژ شد. حجم ۲۵ ml از محلول فوقانی جدا و به یک پتری دیش که از قبل وزن گردیده منتقل و در آن ۱۰۵°C به مدت ۵ ساعت خشک گردید. جهت تعیین انحلال‌پذیری، اختلاف وزن ماده خشک ظرف به نسبت پودر اولیه بر حسب درصد در آب به کار رفت (کانو و همکاران ۲۰۰۵).

میزان جاذب الرطوبه بودن

قابلیت جاذب الرطوبه بودن پودر به شکل مقدار رطوبت (گرم آب جذب شده توسط ۱۰۰ گرم پودر) طی ۷ روز نگهداری در دمای ۲۵°C و رطوبت نسبی ۹۰٪ RH در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید باریوم تعیین گردید (کالاها و همکاران ۱۹۸۲).

ارزیابی رنگ

ارزیابی رنگ با استفاده از دستگاه هانتربل (مدل CR400، ژاپن)، با اندازه‌گیری L^* مقدار Lightness- darkness (سفید=۱۰۰، سیاه=۰)، a^* (قرمز=+، سبز=-) و b^* (زرد=+، آبی=-) صورت گرفت. شاخص‌های Hue و Chroma طبق فرمول‌های زیر محاسبه شدند (کوئک و همکاران ۲۰۰۷):

$$\text{Hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (۴)$$

$$\text{Chroma} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (۵)$$

آنالیز آماری

در پژوهش حاضر دو فاکتور عددی دمای هوای فرآیند و غلظت مالتودکسترین (هر فاکتور در سه سطح) با کاربرد طرح فاکتوریل کامل و در سه تکرار مورد مطالعه قرار و اثرات خطی و متقابل فاکتورها با کاربرد آنالیز واریانس و استفاده از نرم افزار Minitab نسخه

مقدار رطوبت و فعالیت آبی

حدود ۲ گرم پودر در یک پتری دیش بمدت ۲-۳ ساعت در آن در دمای $10.5 \pm 2^\circ\text{C}$ قرار داده شد، در نهایت در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید، فرآیند خشک شدن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. مقدار رطوبت با رابطه زیر محاسبه گردید (A/S Niro Atomizer, 1978b):

$$M\% = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100 \quad (۲)$$

که در آن M درصد رطوبت، W_1 وزن ظرف خالی، W_2 مجموع وزن پودر و ظرف و W_3 مجموع وزن پودر خشک شده و ظرف بعد از آن گذاری می‌باشند.

دانشیته توده و دانشیته حاصل از ضربه

دانشیته توده با افزودن تدریجی ۲ گرم پودر عصاره مالت به استوانه مدرج و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، بصورت (گرم بر میلی لیتر) محاسبه گردید (گولا و همکاران ۲۰۰۴). سپس با استفاده از دانشیتمتر ضربه‌ای، ضربات مداومی (میانگین ۵۰۰ ضربه) به استوانه وارد تا زمانی که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود؛ در نهایت نسبت جرم پودر به حجم خوانده شده محاسبه و دانشیته توده حاصل از ضربه بدست آمد (گولا و آداموپولوس ۲۰۰۸).

دانشیته ذره

برای محاسبه دانشیته ذره پودر از یک پیکنومتر آزمایشگاهی (۵۰ ml) و از تولوئن به دلیل دارا بودن قابلیت نفوذ مناسب در منافذ سطحی و عدم حلالیت ماده در آن بر اساس اصل جایگزینی مایع استفاده گردید (کروکید و مارولیس ۲۰۰۱).

اندازه‌گیری تخلخل توده

تخلخل به صورت حجم خلل و فرج درون ذرات به حجم کل آن تعریف می‌شود. مقدار تخلخل از معادله زیر به دست آمد (کروکید و همکاران ۱۹۹۸):

افزایش رسوب منجر به افزایش ضایعات، کاهش بازده تولید و ضررهای اقتصادی می‌گردد.

نتایج مشابهی توسط گولا و آداموپولوس (۲۰۰۵)؛ چگینی و قبادیان (۲۰۰۷) و تانن و همکاران (۲۰۰۸) بدست آمد که در تحقیقات خود تأثیر دمای هوای ورودی، سرعت جریان هوا و سرعت جریان خوراک را بر میزان بازده محصول و رسوب بر جداره خشک کن مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که با افزایش دمای هوای ورودی و سرعت جریان هوا، بازده خشک کردن افزایش می‌یابد، که این امر عمدتاً به دلیل افزایش سرعت و کارایی خشک شدن می‌باشد. اگرچه پایاداکیس و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که با افزایش دمای هوای ورودی، میزان بازده تولید پودر آب انگور سیاه کاهش یافت. این امر می‌تواند بدلیل مشکلات چسبندگی ناشی از افزایش دمای سطح ذرات از دمای نقطه چسبندگی باشد. یکی از شاخص‌های مهم جهت تعیین کارایی خشک‌کن پاششی، بازیابی تولید محصول است. بازده تولید بیش از ۵۰٪، نشان دهنده فرآیند خشک کردن موفق تولید در مقیاس پایلوت است (بی‌هاندری و همکاران ۱۹۹۷).

همچنین با توجه به شکل ۲ در بین تیمارهای فوق، افزایش غلظت مالتودکسترین نیز بطور قابل توجهی بر بازده تولید مؤثر بود. بطور مثال در بین پودرهای خشک شده در 160°C ، محصول اصلی تیمارهای ۲، ۵ و ۸ با ۲۰٪ مالتودکسترین بترتیب دارای بازده ۵۰/۵، ۵۷/۶ و ۶۱/۳٪ بودند. عملکرد مالتودکسترین بعنوان یک کمک خشک کن از طریق افزایش دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) کل مخلوط و همچنین ایجاد یک لایه و فیلم نازک غیرچسبنده در اطراف قطرات و ذرات تولید شده است. این یافته مشابه نتایج ارائه شده توسط شرستا و همکاران (۲۰۰۷)، پایاداکیس و همکاران (۲۰۰۶) و کوئک و همکاران (۲۰۰۷) است.

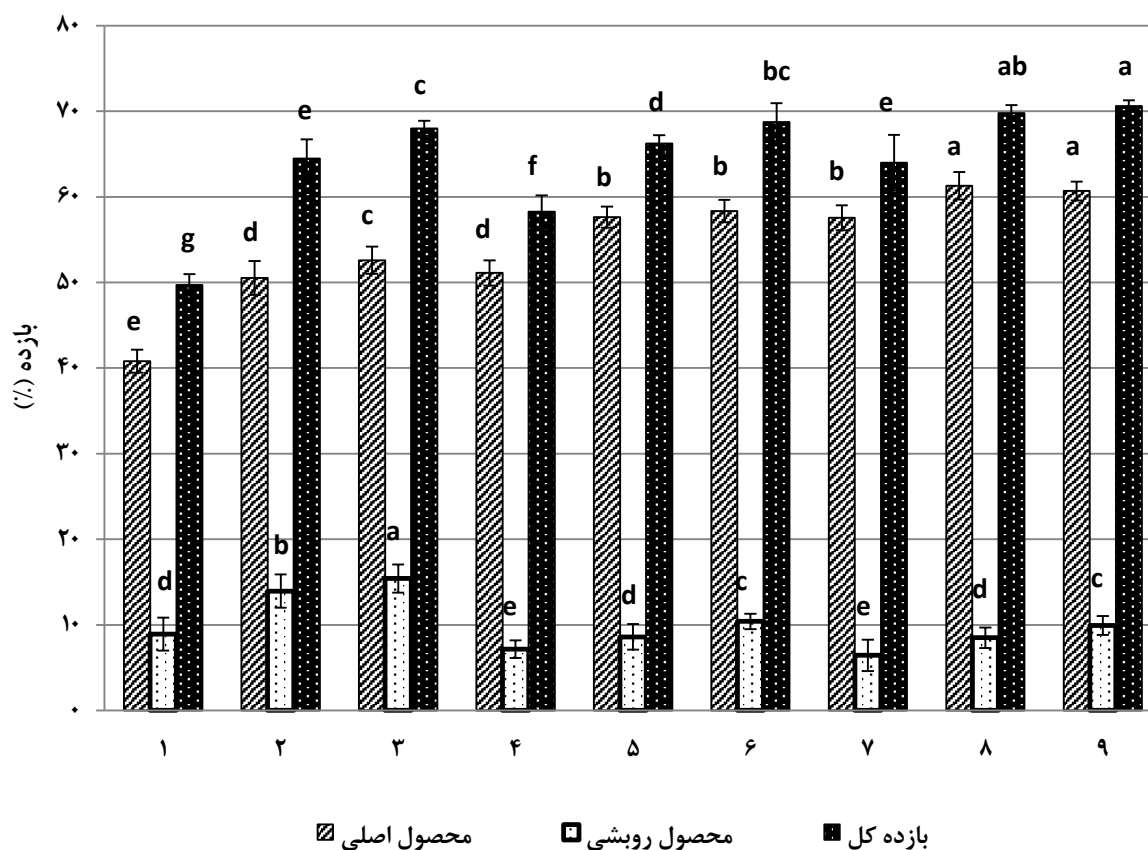
۱۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند تا فاکتورهای مؤثر از لحاظ آماری شناسایی شوند و اثر دما و غلظت بروی میانگین‌ها جهت بررسی معنی‌دار بودن داده‌ها در ($P < 0.05$) مشخص گردید.

نتایج و بحث

بازده تولید پودر

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بازده پودر تولید شده از سیستم خشک کن پاششی به ۲ دسته تقسیم شده است، پودر یا محصول اصلی که به‌طور مستقیم و در حین فرآیند خشک کردن از خروجی پائین دستگاه متصل به بخش مخروطی شکل جمع می‌گردد. این محصول اصلی مدنظر بوده و جهت انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

دوم پودر حاصل از فرآیند روبشی است که در طول فرآیند در نیمه انتهایی و جداره داخلی بخش مخروطی شکل جمع گردیده که در نهایت پس از اتمام کار دستگاه با فرآیند روبش از جداره داخلی زدوده و در شیشه انتهایی و به صورت جداگانه جمع و توزین گردید. اما با توجه به ماندن این پودر در جداره داخلی دستگاه در کل زمان خشک کردن و احتمال آسیب حرارتی، این پودر فقط به‌عنوان جزئی از راندمان تولید محاسبه و برای آزمایشات مورد استفاده قرار نگرفت. در نهایت مجموع این ۲ پودر به‌صورت راندمان کل تولید محصول گزارش گردید. در این تحقیق با توجه به نتایج بدست آمده در شکل ۲، در بین ۹ تیمار مشخص شده در جدول ۲، بازده تولید در پودرهای حاصل از دماهای هوای بالاتر بویژه از 140°C به 160°C در غلظت مالتودکسترین یکسان، به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. که این امر را می‌توان به‌دلیل افزایش ضریب انتقال هم زمان جرم و انرژی و کاهش احتمال برخورد و چسبیدن این ذرات نیمه خشک به یکدیگر و به دیواره که در نهایت موجب تشکیل رسوب می‌گردد، نسبت داد.



شکل ۲- مقادیر محصول اصلی، محصول روبشی و بازده کل پودرهای به دست آمده از خشک کن پاششی

(کدهای ۱ تا ۳ به ترتیب مربوط به غلظت ۲۰، ۴ تا ۶ مربوط به غلظت ۳۰ و ۷ تا ۹ مربوط به ۴۰ درصد مالتودکستروزین، هر غلظت به ترتیب در شرایط دمایی ۱۶۰، ۱۸۰°C بررسی گردید).

خروجی کاسته شد که این امر احتمالاً بدلیل افزایش مقدار آب آزاد و در دسترس برای تبخیر می باشد که خود با سهولت در جذب انرژی و گرما از هوا موجب افزایش تبخیر رطوبت شده و در نتیجه سبب کاهش دمای هوای خروجی می شود. دمای هوای خروجی با درجه حرارت و سرعت جریان هوای ورودی رابطه مستقیم دارد (گولا و آدامپولوس ۲۰۰۳). اما بطور کلی حدود ۳۰ درصد از انرژی گرمایی هوای ورودی صرف تبادل جرم و انرژی و تبخیر آب موجود در قطرات گشته و مابقی انرژی گرمایی از طریق دیواره ها و یا از جریان هوای خروجی هدر می رود، که این خود سبب افزایش دمای هوای خروجی می شود. کنترل درجه حرارت خروجی به درجه حرارت ورودی، دبی هوای

آدهیکاری و همکاران (۲۰۰۴) نیز بیان نمودند که افزایش غلظت مالتودکستروزین در تولید پودر آمیوه ها موجب کاهش چسبندگی و ممانعت از کلوخه ای شدن پودرها در طول نگهداری می شود. اگرچه تانن و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که افزایش غلظت مالتودکستروزین به دلیل افزایش ویسکوزیته مخلوط موجب کاهش بازده فرآیند تولید پودر آکای^۱ (نوعی میوه محلی برزیل) می شود.

دمای هوای خروجی

در این تحقیق، با افزایش دمای هوای ورودی، دمای هوای خروجی نیز افزایش یافت. همچنین با افزایش غلظت مالتودکستروزین نیز به میزان کمی از دمای هوای

^۱Acai

این امر به دلیل حضور مولکول‌های بزرگ مالتودکسترین بوده که انتشار مولکول‌های آب را با دشواری مواجه می‌سازد. در مطالعه آنها از غلظت‌های بالای مالتودکسترین برای تولید پودر آب پرتقال استفاده شد.

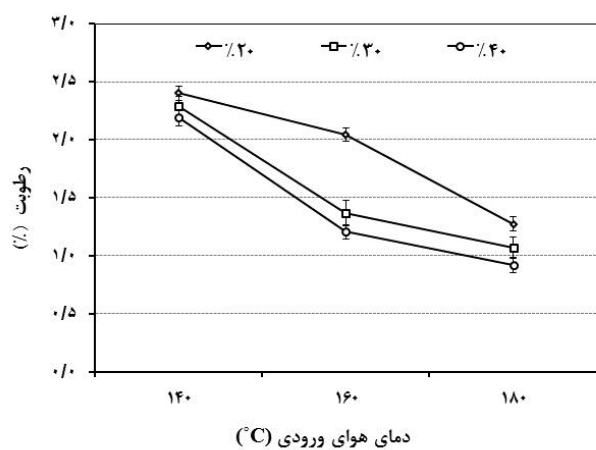
ویژگی رطوبت، برخی از خصوصیات پودر نظیر دانسیته توده و حلالیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به اینکه در سیستم خشک کن پاششی، درجه حرارت هوای خروجی، رطوبت باقیمانده پودر را کنترل می‌کند، بنابراین در دمای خروجی بالا می‌توان به رطوبت پایین دست یافت (گولا و آداموپولوس ۲۰۰۵). به علاوه رطوبت هوا نیز ممکن است یک عامل تعیین کننده در میزان رطوبت پودر باشد. به طوری که اگر رطوبت هوای محیط بالا باشد، برای اینکه بتوان رطوبت پودر را در حد مورد نظر حفظ نمود، لازم است که دمای هوای خروجی افزایش یابد (مسترز ۱۹۹۷).

میزان فعالیت آبی در پودرهای عصاره مالت بین ۰/۰۷۶ تا ۰/۲۳۲ بود که نشان دهنده پایداری میکروبیولوژیکی قابل قبول پودرها است. فعالیت آبی به صورت نسبت فشار بخار آب ماده غذایی به فشار بخار اشباع آب خالص در همان دمایی که ماده غذایی قرار گرفته است اندازه‌گیری می‌شود. فعالیت آبی با میزان رطوبت متفاوت می‌باشد. فعالیت آبی، آب آزاد قابل دسترس در سیستم غذایی است که موجب واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شود. میزان رطوبت، ترکیب آب در سیستم غذایی را نشان می‌دهد. فعالیت آبی بالا نشان می‌دهد که آب آزاد بیشتری برای واکنش‌های بیوشیمیایی در دسترس است و بنابراین زمان ماندگاری کاهش می‌یابد. معمولاً مواد غذایی با فعالیت آبی کمتر از ۰/۶ از لحاظ میکروبیولوژیکی پایدار هستند و فساد میکروبی در آنها رخ نمی‌دهد؛ اما انجام واکنش‌های شیمیایی امکان‌پذیر است (کوئک و همکاران ۲۰۰۷). نتایج مشابهی نیز در تحقیقات گولا و آداموپولوس (۲۰۰۵) و چگینی و قبادیان (۲۰۰۵) و رودریگز و همکاران (۲۰۰۵)، به ترتیب

ورودی ودبی خوراک بستگی دارد (کیم و بومیک ۱۹۹۰؛ کیم و همکاران ۲۰۰۹؛ گالو و همکاران ۲۰۱۱).

رطوبت و فعالیت آبی

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین، میزان رطوبت پودرها کاهش می‌یابد. هر چه اختلاف دما بین ذرات و محیط خشک کردن بیشتر باشد، سرعت انتقال هم زمان جرم و انرژی در ذرات افزایش می‌یابد که به عبارت دیگر افزایش دما بعنوان نیروی محرکی برای خروج و حذف رطوبت از ذرات عمل می‌نماید. این یافته مشابه نتایج گولا و آداموپولوس (۲۰۱۰) است که گزارش کردند دمای هوای ورودی بر میزان رطوبت پودر کنسانتره آب پرتقال نقش اساسی دارد. تأثیر مالتودکسترین نیز به دلیل افزایش آب آزاد و در دسترس جهت تبخیر بوده که در نهایت موجب کاهش مقدار رطوبت پودرها گردید. این یافته مشابه نتایج حاصل از خشک کردن پاششی آب هندوانه است که در آن رطوبت پودرهای حاصل با افزایش مقدار مالتودکسترین کاهش یافت (کوئک و همکاران ۲۰۰۷).



شکل ۳- تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر رطوبت پودر عصاره مالت

گولا و آداموپولوس (۲۰۱۰)، نشان دادند که افزایش غلظت مالتودکسترین موجب افزایش رطوبت می‌گردد،

(گولا و آداموپولوس ۲۰۰۵ و گانیسان و همکاران ۲۰۰۸؛ بی‌هانداری و همکاران ۲۰۰۸).

تحقیقات نشان داد که غلظت خوراک، شرایط خشک کردن و فشار افشانه نیز به طور قابل توجهی دانسیته توده محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (بی-هانداری و همکاران ۲۰۰۸). به طور مثال والتون (۲۰۰۰) گزارش کرد که دانسیته توده با کاهش درجه حرارت هوای خروجی و با افزایش ماده جامد خوراک، افزایش می‌یابد. بر طبق مطالعات چگینی و قبادیان (۲۰۰۵)، تأثیر دما بر دانسیته توده‌ای به تأثیر آن بر میزان رطوبت بستگی دارد. هر چه میزان رطوبت محصول بالاتر باشد جرم توده آن به دلیل حضور آب بیشتر بوده که نسبت به مواد خشک چگال‌تر می‌باشد. به طور کلی اثر شرایط خشک کردن روی دانسیته توده به میزان زیادی تابع نوع محصول است (کروکیدا و مارولیس ۱۹۹۷؛ کروکیدا و همکاران ۱۹۹۸).

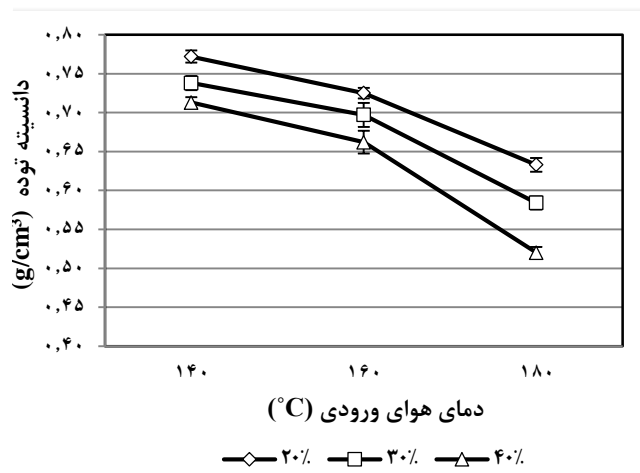
فرناندز و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که دانسیته توده و دانسیته ذره با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت ترکیبات دیواره کاهش می‌یابد، این امر ممکن است به دلیل مقدار رطوبت کمتر در محصول یا گیر افتادن هوا درون ساختار ذرات باشد. به عنوان مثال مالتودکسترین یک ماده تشکیل دهنده پوسته است. این یافته موافق با نتایج کوئک و همکاران (۲۰۰۷) و چگینی و قبادیان (۲۰۰۵) است که به ترتیب تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت حامل را بر پودر آب هندوانه و آب پرتقال بررسی کردند. توده‌های شامل ذرات ریز به طور قابل ملاحظه‌ای دانسیته توده ضربه‌ای بیشتر و تخلخل کمتری نسبت به آنها بیکه فاقد ذرات ریز هستند نشان می‌دهند. این امر احتمالاً به دلیل اشغال منافذ موجود میان ذرات درشت توسط ذرات ریز می‌باشد (تانن و همکاران ۲۰۰۸؛ عبدالله و گلدارت ۱۹۹۹).

اندازه گیری دانسیته توده و دانسیته حاصل از ضربه در صنعت عمدتاً در جهت تنظیم شرایط نگهداری، فرآوری، بسته بندی و توزیع صورت می‌گیرد. بدین

در مورد پودرهای حاصل از آب گوجه، آب پرتقال و عصاره میوه کاکتوس مشاهده گردید.

دانسیته توده، دانسیته توده حاصل از ضربه، دانسیته ذره

مقادیر دانسیته توده، دانسیته توده حاصل از ضربه و دانسیته ذره پودرهای عصاره مالت به ترتیب در محدوده ۰/۷۷ تا ۰/۵۲، ۰/۸۶ تا ۰/۵۵ و ۱/۵۲ تا ۱/۳۲ g/cm^3 به دست آمد. میزان دانسیته توده، دانسیته ضربه و دانسیته ذره پودرهای تولیدی در اثر افزایش دمای هوای ورودی و افزایش غلظت مالتودکسترین کاهش یافت. زیرا با افزایش دما، سرعت تبخیر رطوبت افزایش یافته، اندازه ذرات بزرگتر شده و ذراتی کرومی-تر با فشردگی و چروکیدگی سطحی کمتر تولید می-شوند. از دیگر عوامل مؤثر بر دانسیته توده، رطوبت پودر است، به گونه‌ای که با افزایش درجه حرارت رطوبت کاهش یافته، ذرات سبک‌تر شده و در نتیجه دانسیته توده کاهش می‌یابد.



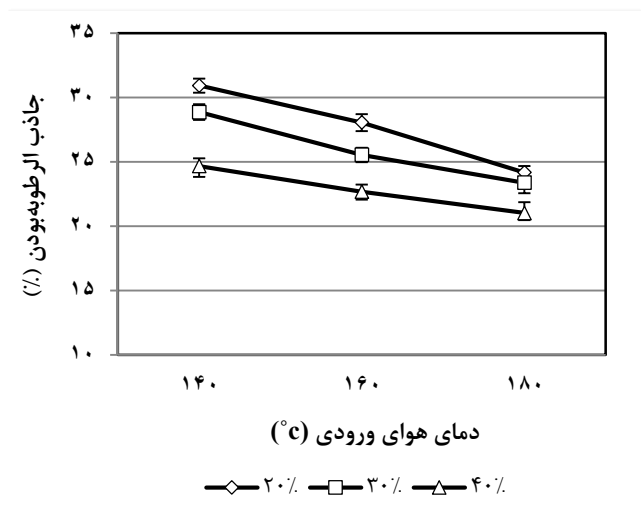
شکل ۴- تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر دانسیته توده پودر عصاره مالت

دانسیته توده به اندازه ذره و توزیع اندازه ذرات، شکل ذرات، رطوبت، ترکیب شیمیایی، میزان هوای محبوس شده در داخل ذره بستگی دارد؛ که این عوامل به ویژگی‌های خوراک، میزان هوای ورودی، دما و زمان خشک کردن، عملیات فرآوری و حمل و نقل بستگی دارد

پودرها گردید که بر اساس رفتار تشریح شده در تحقیقات پیشین استوار است (بی‌هانداری و هارتل ۲۰۰۵؛ بی‌هانداری و همکاران ۱۹۹۷؛ سیلوا و همکاران ۲۰۰۶).

انحلال‌پذیری

یکی از ویژگی‌های مهم در تولید، استفاده از پودرهای غذایی فوری و همچنین امکان به‌کارگیری آنها به‌عنوان یک جزء افزودنی در صنایع غذایی، قابلیت بازسازی و حلالت مناسب آنها می‌باشد. فرآیند بازسازی پودر در آب به چهار مرحله شامل خیس شدن، غوطه‌ور شدن، پراکنده شدن و حل شدن تقسیم می‌شود (کیم و همکاران ۲۰۰۳).



شکل ۵- تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر درصد جذب الرطوبه بودن پودر عصاره مالت

میزان انحلال‌پذیری پودر عصاره مالت تولید شده با افزایش دمای هوای ورودی، افزایش یافت (شکل ۶)، که این امر عمدتاً به دلیل کاهش میزان رطوبت و همچنین افزایش اندازه ذرات تولید شده است که بر مبنای نتایج حاصل از آزمون دانسیته توده و ذره، و یافته‌های محققین پیشین در ارتباط با نقش افزایش دمای هوای فرآیند، در نهایت موجب افزایش تخلخل ظاهری، توده و بهبود قابلیت خیس پذیری ذرات می‌گردد. این یافته موافق با نتیجه حاصل از تحقیق والتون (۲۰۰۰) است که

شکل که در حجم اشغال شده توسط جرم مشخصی از ذرات پس از تولید، حمل و نقل و نگهداری، به‌عنوان معیاری برای اندازه بسته‌بندی مورد استفاده بکار می‌رود. در شرایط عدم تناسب، ممکن است بسته بندی محصول خیلی خالی به نظر آمده (عدم تناسب ظاهری و رضایت مصرف کننده) و یا حجم بسته با وزن کمتری از محصول پر شده (عدم رعایت استاندارد) را در پی دارد (آنولاتا، ۲۰۰۵).

تخلخل توده

مقدار تخلخل در پودرهای عصاره مالت تولید شده بین ۰/۴۹ تا ۰/۶ بدست آمد. با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین، میزان تخلخل پودرهای عصاره مالت افزایش یافت، زیرا با افزایش دما امکان تولید ذرات توخالی و پوک با چروکیدگی کم افزایش می‌یابد که در نتیجه اندازه ذرات بزرگتر شده و تخلخل و فضای خالی بین ذرات بیشتر می‌شود. در تحقیقات منتشر شده زیادی، تخلخل را به‌عنوان تابعی از توزیع، اندازه و شکل ذرات در نظر گرفته‌اند. بیشتر این تحقیقات مربوط به پودرهایی با جریان پذیری آزاد یا مواردی که در آنها تخلخل می‌تواند به‌عنوان فاکتورهای هندسی و آماری مورد بحث و بررسی قرار گیرد می‌باشند (گری ۱۹۶۷ و فرناندز و همکاران ۲۰۱۲).

جاذب الرطوبه بودن

مقادیر جاذب الرطوبه بودن به‌عنوان مقادیر مطلق در نظر گرفته نمی‌شوند، همانند این‌که پودرها در معرض شرایط نامطلوب و فاقد بسته‌بندی در محیطی با رطوبت نسبی بالا قرار دارند. همانگونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، به‌طور کلی با افزایش دمای هوای ورودی از میزان جاذب الرطوبه بودن پودرهای عصاره مالت تولیدی کاسته شد که این عمدتاً به دلیل افزایش اندازه ذرات تولید شده و کاهش سطح تماس کل ذرات و کشش سطحی پودرها است و از سوی دیگر افزایش مقدار کمک خشک کن با تغییر در ترکیب ذرات و ایجاد یک لایه غیرچسبنده سبب کاهش جاذب الرطوبه بودن

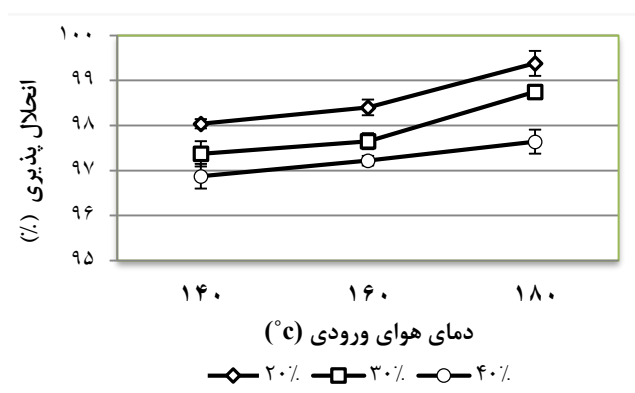
در تحقیقات صورت گرفته توسط جیناپونگ و همکاران (۲۰۰۸)، گولا و آداموپولوس (۲۰۰۵)، استراسما و همکاران (۱۹۹۹)، تأثیر رطوبت، اندازه ذرات پودرها و قطر قطرات تولید شده توسط اتمایزر بر انحلال پذیری بررسی گردید. نتایج حاکی از این بود که پودرهایی با رطوبت کمتر با سهولت بیشتری در آب حل می‌گردند، همچنین ذرات درشت در آب ته نشین می‌شوند در حالی که ذرات ریز به صورت گرد بوده و معمولاً روی آب شناور می‌مانند. از سوی دیگر خشک شدن قطرات بزرگتر به دلیل محدودیت در انتشار رطوبت به آهستگی صورت و از این رو نیازمند حفظ زمان بیشتری در معرض هوای گرم خشک کن جهت عبور از محدوده رطوبت حساس به حرارت می‌باشند.

همانطور که در نمودار فوق مشاهده می‌گردد، با افزایش غلظت مالتودکسترین به مقدار کمی حلالیت پودرهای عصاره مالت تولید شده کاهش یافت که این اثر در مقایسه با نقش دمای هوای ورودی از اهمیت کمتری برخوردار است. این یافته با نتایج حاصل از تحقیقات آبادیو و همکاران (۲۰۰۴) و کانو و همکاران (۲۰۰۵) منطبق است. چائوکا و همکاران (۲۰۰۴)، نیز گزارش نمودند که با افزایش غلظت کمک خشک کن، حلالیت پودرهای انبه خشک شده کمتر می‌شود. همچنین در تحقیق صورت گرفته توسط ماهندران (۲۰۱۰) در خشک کردن کنستانتره گواوا (Guava)، با افزایش غلظت مالتودکسترین از ۳۰ به ۶۰ درصد، انحلال پذیری پودرها از ۹۵ به ۸۶ درصد کاهش یافت.

اگرچه گولا و آداموپولوس (۲۰۱۰) نشان دادند که افزایش غلظت مالتودکسترین موجب افزایش حلالیت پودرها می‌گردد. این نتیجه را عمدتاً به دلیل ویژگی‌های فیزیکی مناسب و حلالیت بالای مالتودکسترین بیان نمودند، که آن را برای استفاده در خشک کردن پاششی مناسب نموده است.

بیان نمود با افزایش درجه حرارت هوای خشک کردن، اندازه ذره افزایش یافته که منجر به کاهش زمان لازم برای آگیری مجدد می‌شود.

اگرچه از سوی دیگر، کوئک و همکاران (۲۰۰۷)، بیان کردند که با افزایش دمای خشک کردن میزان حلالیت پودرهای تولیدی کاهش یافت که این امر را به دلیل تشکیل یک لایه سخت بر سطح ذرات و ممانعت از نفوذ مولکول‌های آب به درون ذرات و کاهش قابلیت خیس پذیری دانستند.



شکل ۶- تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر میزان انحلال پذیری پودر عصاره مالت

تأثیر افزایش دمای هوای خشک کردن بر انحلال پذیری پودرها به ماهیت ماده اولیه، ترکیب و حساسیت حرارتی آن بستگی دارد. به طور مثال، قرار گرفتن مواد (به خصوص محصولات لبنی و ترکیبات پروتئینی حساس به حرارت) در معرض دماهای بالا، موجب تولید مواد نامحلولی می‌شود که در تولید پودرهای فوری نامطلوب هستند. میزان تشکیل مواد نامحلول در طی خشک کردن به طور عمده به میزان پروتئین خوراک، شرایط خشک کردن، منحنی‌های درجه حرارت و میزان رطوبت قطره در محفظه خشک کن بستگی دارد. ویژگی‌های محصول و پیش فرآیندها (پیش گرم کردن، هموژن کردن و غیره) نیز در این پدیده نقش مهمی دارند (استراسما و همکاران ۱۹۹۹ و بی‌هاندری و همکاران ۲۰۰۸).

ارزیابی رنگ

تغییرات ایجاد شده در رنگ پودرهای به‌دست آمده تحت تأثیر شرایط دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود به‌طور کلی با افزایش دما و همچنین غلظت مالتودکسترین، رنگ نمونه‌ها روشن‌تر

شد. فرآیند خشک کردن انجمادی یا خشک کردن پاششی (با افزایش دما و سرعت خشک کردن پاششی) منجر به تولید ذراتی متخلخل و پف کرده شده که خود به دلیل کاهش تراکم و فشردگی ذرات سبب ایجاد رنگ روشن و براق در پودرها می‌گردد.

جدول ۲- تغییرات در شاخص‌های رنگ پودرها تحت تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین

Hue (h*)	Chroma(C*)	B*	a*	L*	تیمارها
۸۱/۲۵۱۶	۳۹/۷۱	۳۹/۲۵	۶/۰۴	۷۰/۵۱	۱۴۰°C - ٪۲۰
۸۰/۸۲۷۳	۴۰/۳۴	۳۹/۸۲	۶/۴۳	۷۰/۴۹	۱۶۰°C - ٪۲۰
۸۲/۳۳۱۴	۳۶/۸۷	۳۶/۵۴	۴/۹۲	۷۳/۳۲	۱۸۰°C - ٪۲۰
۸۱/۱۰۲۴	۳۹/۷	۳۹/۲۲	۶/۱۴	۷۰/۹	۱۴۰°C - ٪۳۰
۸۲/۲۰۵۷	۳۷/۱۶	۳۶/۸۲	۵/۰۴	۷۳/۱۶	۱۶۰°C - ٪۳۰
۸۳/۳۰۰۱	۳۳/۶	۳۳/۳۷	۳/۹۲	۷۵/۵۸	۱۸۰°C - ٪۳۰
۸۲/۶۸۱۴	۳۶/۳۵	۳۶/۰۵	۴/۶۳	۷۴/۳۶	۱۴۰°C - ٪۴۰
۸۳/۳۷۰۶	۳۴/۱۳	۳۳/۹	۳/۹۴	۷۵/۴۲	۱۶۰°C - ٪۴۰
۸۳/۶۹۶۴	۳۲/۸۸	۳۲/۶۸	۳/۶۱	۷۷/۴۲	۱۸۰°C - ٪۴۰

همچنین در طول خشک کردن پاششی، مقدار L^* افزایش یافت که احتمالاً به دلیل افزایش اکسیداسیون رنگدانه‌های حساس به حرارت است و با افزایش غلظت مالتودکسترین نیز رنگ نمونه‌ها به رنگ سفید مالتودکسترین متمایل گردید.

این یافته‌ها با نتایج حاصل از تحقیق چپدا و بانرت (۲۰۰۴) که خشک کردن پاششی کنسانتره گاوآرا را انجام دادند موافق است. کک و همکاران (۲۰۱۰) نیز بیان کردند که دمای بالا و زمان طولانی خشک کردن به طور معنی‌داری کیفیت مواد خشک شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد که از جمله ویژگی‌های کیفی می‌توان تغییرات در رنگ پودر تولیدی را نام برد. به‌عنوان مثال تغییر در رنگ پودر ماست نامطلوب است زیرا بر پذیرش مصرف‌کننده اثر می‌گذارد. دمای هوای خروجی بالا باعث افزایش در رنگ زرد و کاهش روشنایی می‌شود که به دلیل واکنش قهوه‌ای شدن

غیرآزمی (مایلارد)، در نتیجه واکنش گروه آمین پروتئین‌ها با کربونیل قندهای احیاء کننده در طی خشک کردن پاششی می‌باشد (کک و همکاران ۲۰۱۰). در آزمون رنگ سنجی پودر آب هندوانه خشک شده به روش پاششی با افزایش دمای هوای ورودی رنگ پودرها تیره‌تر گردید که در این رابطه قندهای موجود در نمونه در واکنش قهوه‌ای و تیره شدن رنگ شرکت و میزان رنگ قرمز در نمونه‌ها کاهش یافت، که این امر به دلیل تخریب رنگدانه‌های لیکوپین و بتاکاروتن می‌باشد (کوئک و همکاران ۲۰۰۷).

نتیجه‌گیری

تأثیر شرایط خشک کردن پاششی نظیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر بازده تولید پودر، رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، دانسیته توده حاصل از ضربه، دانسیته ذره، تخلخل، انحلال‌پذیری، جاذب

زره، جاذب الرطوبه بودن و رنگ نمونه‌ها کاسته شد. به-
 طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از این است
 که دمای 180°C و غلظت ۴۰٪ مالتودکسترین با در نظر
 گرفتن سایر شرایط به مقدار ثابت، بهترین تأثیر را بر
 عملکرد سیستم خشک کن، بازده تولید پودر عصاره
 مالت از طریق کاهش چسبندگی، تولید ذراتی درشت‌تر و
 متخلخل‌تر با دانسیته کمتر گذارده و بر سایر ویژگی-
 های فیزیکی نظیر رطوبت، رنگ و جریان‌پذیری نیز
 تأثیر گذار است.

الرطوبه بودن و رنگ پودر عصاره مالت مورد بررسی
 قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که با
 افزایش دمای هوای ورودی، بازده تولید، تخلخل و
 انحلال‌پذیری پودرها افزایش یافت. در حالی‌که از میزان
 رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، دانسیته توده حاصل
 از ضربه، دانسیته زره، جاذب الرطوبه بودن و رنگ
 پودرها کاسته شد. افزایش غلظت مالتودکسترین نیز
 موجب افزایش بازده تولید پودر، تخلخل و اندازه ذرات
 گردید، اما از سوی دیگر از مقدار رطوبت، فعالیت آبی،
 دانسیته توده، دانسیته توده حاصل از ضربه، دانسیته

منابع مورد استفاده

- پیغمبردوست س ۱۳۸۸.۵. تکنولوژی فرآورده‌های غلات: جلد دوم. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی تبریز. تبریز، ۳۰۰ ص.
- A/S Niro Atomizer, Copenhagen, Denmark 1978b. Determination of moisture. In Sorensen, I H, Krag, J, Pisecky, J and Westergaard, V (Eds.), Analytical methods for dry milk products (4th ed., pp. 10-11). Copenhagen: De Forenede Trykkerier A/S.
- Abadio FDB, Domingues, AM Borges SV, and Oliveira VM, 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananascomosus*) juice – effect of maltodextrin concentration and atomization speed. Journal of Food Engineering 64: 285–287.
- Abdullah EC and Geldart D, 1999. The use of bulk density measurements as flowability indicators. Powder Technology 102: 151–165.
- Adhikari B, Howes T, Bhandari BR and Troung V, 2004. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. Journal of Food Engineering 62:53–68.
- Adhikari B, Howes T, Bhandari BR and Truong V, 2003. In situ characterization of stickiness of sugar-rich foods using a linear actuator driven stickiness testing device. Journal of Food Engineering 8:11–22.
- Bhandari BR and Hartel RW, 2005. Phase transitions during food powder production and powder stability. In C. Onwulata (Ed.), Encapsulated and powdered foods (pp. 261-292). Boca Raton, FL: Taylor & Francis.
- Bhandari BR and Howes T, 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of foods. Journal of Food Engineering 40: 71–79.
- Bhandari BR, Datta N and Howes T, 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. Drying Technology 15: 671–684.
- Bhandari BR, Datta N, D'Arcy BR. and Rintoul GB, 1998. Co-crystallization of honey with sucrose. LWT, Food Science and Technology 31:138–142.
- Bhandari BR, Patel KC and Chen XD, 2008. Spray drying of food materials process and product characteristics. In XD Chen and AS Mujumdar (Eds.), Drying Technology of Food Processing (pp. 113-157). Blackwell Publishing, UK.
- 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 and Emerging Technologies 6:420–428
- Carr R, 1965. Evaluating flow properties of solids. Chemical Engineering 72:163-168.

- Chegini GR and Ghobadian B, 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology* 23:657–668.
- Chegini GR and Ghobadian B, 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences* 3:230–236.
- Chidavaenzi OC, Buckton G and Koosha F, 2001. The effect of co-spray drying with polyethylene glycol 4000 on the crystallinity and physical form of lactose. *International Journal of Pharmaceutics* 216:43–49.
- Fernandes LP, Candido RC and Oliveira WP, 2011. Spray drying microencapsulation of *Lippia sidoides* extracts in carbohydrate blends. *Food Bioproducts Processing* 90:425–432.
- Ganesan V, Rosentrater KA and Muthukumarappan K, 2008. Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders – a review with implications for DDGS. *Biosystems Engineering* 101:425–435.
- Goula AM and Adamopoulos KG, 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: 1. Drying kinetics and product recovery. *Drying Technology* 26:714–725.
- Goula AM and Adamopoulos KG, 2003. Spray drying performance of a laboratory spray dryer for tomato powder preparation. *Drying Technology* 21:1273–1289.
- Goula AM and Adamopoulos KG, 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:342–351.
- Goula AM, Konstantinos G and Adamopoulos G, 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on powder recovery. *Journal of Food Engineering* 66:25–34.
- Gustavo V. Barbosa-Cánovas (2005). *Food powders, Physical Properties, Processing, and Functionality*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Jinapong N, Suphantharika M, and Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 84:194–205.
- Keogh K, Murray C, Kelly J and O’Kennedy B, 2004. Effect of the particle size of spray-dried milk powder on some properties of chocolate. *Lait* 84:375–384.
- Kim EHJ, Chen XD and Pearce D, 2002. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and SurfacesB: Biointerfaces* 26:197–212.
- Kim EHJ, Chen XD and Pearce D, 2003. On the mechanisms of surface formation and the surface compositions of industrial milk powders. *Drying Technology* 21:265–278.
- Kim EHJ, Chen XD and Pearce D, 2009a. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 1. Development of surface composition during manufacture. *Journal of Food Engineering* 94:163–168.
- Kim EHJ, Chen XD and Pearce D, 2009b. Surface composition of industrial spray dried milk powder. 2: Effect of spray drying conditions on the surface composition. *Journal of Food Engineering* 94:169–181.
- Kim, SS and Bhowmik SR, 1990. Survival of lactic acid bacteria during spray drying of plain yogurt. *Journal of Food Science* 55:1008–1010, 1048.
- Kim SS and Bhowmik SR 1994. Moisture sorption isotherms of concentrated yogurt and microwave vacuum dried yogurt powder. *Journal of Food Engineering* 21:157–175.
- Koc B, Yilmazer MS, Balkır P and Ertekin FK. 2010. Spray drying of yogurt: optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. *Drying Technology*, 28, 495–507.
- Krokida MK and Maroulis ZB, 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology* 15:2441–2458.
- Krokida MK, Zogzas NP and Maroulis ZB, 1998. Shrinkage and porosity during drying. Modeling the effect of vacuum. *International Journal of Food Science and Technology* 32:445–458.
- Krokida MK and Maroulis ZB, 2001. Structural properties of dehydrated products during rehydration. *International Journal of Food Science and Technology* 36:529–538.
- Langrish TAG, 2007. New engineered particles from spray dryers: research needs in spray drying. *Drying Technology* 25:971–983.

- Maa YF and Hsu CC, 1997. Protein denaturation by combined effect of shear and air-liquid interface. *Biotechnology and Bioengineering* 54:503-512.
- Maa YF, Nguyen PAT and Hsu SW, 1998. Spray drying of air-liquid interface sensitive recombinant human growth hormone. *Journal of Pharmaceutical Sciences* 87: 152-159.
- Masters K, 1997. Spray dryers. In CGJ Baker (Ed.), *Industrial drying of foods* (pp. 90-114). New York: Blackie Academic & Professional.
- Papadakis SE, Gardeli C and Tzia C, 2006. Sprays drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*. 24:173-180.
- Quek SY, Chok NK and Swedlund P, 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing* 46:386-392.
- Reh C, Bhat, SN and Berrut S, 2004. Determination of water content in powdered milk. *Food Chemistry* 86:457-464.
- Roos YH, 1995. Characterization of food polymers using state diagrams. *Journal of Food Engineering* 24: 339-360.
- Roustapour OR, Hosseinalipour M and Ghobadian B, 2006. An experimental investigation of lime juice drying in a pilot plant spray dryer. *Drying Technology* 24:181-188.
- Shrestha AK, Howes T, Adhikari BP, Wood BJ, Bhandari BR, 2007. Effect of protein concentration on the surface composition, water sorption and glass transition temperature of spray-dried skim milk powders. *Journal of Food Chemistry* 104:1436-1444.
- Silva MA, Sobral PJA and Kieckbusch TG, 2006. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. *Journal of Food Engineering*, 77:426-432.
- Straatsma J, Van Houwelingen G, Steenbergen AE and De Jong P, 1999. Spray drying of food products: 2. Prediction of insolubility index. *Journal of Food Engineering* 42:73-77.
- Teunou E, Vasseur J and Krawczyk M. 1995. Measurement and interpretation of bulk solids angle of repose for industrial process design. *Powder Handling and Processing* 7:1-9.
- Tonon RV, Barbet C and Hubinger MD 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acid (*Euterpe Oleraceae* Mart) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering* 88:411-418.
- Troung V, Bhandari BR, Howes T, 2005. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I—Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering* 71:55-65.
- Walton DE 2000. The morphology of spray-dried particles. A qualitative view. *Drying Technology* 18:1943-1986.

Effect of spray drying conditions on physicochemical, functional properties and production yield of malt extract powder

SH Peighambardoust ^{*1} and Kh Sarabandi ²

Received: April 14, 2014

Accepted: May 30, 2015

¹Professor of Food Technology, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

²Former MSc Student of Food Technology, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

* Corresponding author, Email: peighambardoust@tabrizu.ac.ir

Abstract

In this study, the influence of various parameters such as inlet air temperature and maltodextrin concentration on physicochemical and functional properties as well as production efficiency of spray dried malt extract powder was investigated. A pilot-scale spray dryer used for drying. Process variables were inlet air temperature and maltodextrin concentration (DE=18-20). Maltodextrin as drying aid in concentrations of 20, 30 and 40% (w/w wet weight of malt extract) was used. Inlet air temperature of 140, 160 and 180 °C in a co-current stream was used. In all experiments, atomizer rotational speed, feed flow rate, feed temperature and atomizer air pressure were kept constant at 1800 rpm, 10 ml/min, 30±1 °C and 4±0.1 bar, respectively. The least significant difference between means at $p < 0.05$ was calculated using on Minitab software. The results indicated by increasing inlet air temperature and maltodextrin concentration, powder production yield, particle size and porosity were increased, while moisture content, water activity, bulk density, tapped density, particle density, hygroscopicity, and color values were decreased. Moreover, powders solubility was positively affected by inlet air temperature and negatively influenced by maltodextrin concentration.

Keywords: Malt extract powder, Maltodextrin, Physicochemical properties, Powder production yield, Spray drying.