

اثر فرآیند خشک کردن پاششی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروساختار پودر عصاره مالت

خشایار سرابندی^{1*}، علیرضا صادقی ماهونک²، مریم محمدی³، زهرا اکبربگلو⁴

- 1- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- 2- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- 3- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
- 4- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: 1396/04/25

تاریخ دریافت: 1395/09/18

چکیده

در این مطالعه، تأثیر دمای خشک کردن و غلظت صمغ عربی بر بازده تولید، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، جریان پذیری و ریزساختار پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی مورد بررسی قرار گرفت. فرآیند خشک کردن نمونه‌های مایع با استفاده از یک خشک کن پاششی در مقیاس نیمه صنعتی انجام شد. دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی متغیرهای فرآیند بودند. غلظت‌های 20، 30 و 40% کمک خشک کن براساس وزن عصاره مالت مورد استفاده قرار گرفت. دمای هوای ورودی (140°C ، 160°C و 180°C) و به صورت همسو با محلول خوراک برای خشک کردن استفاده گردید. نتایج نشان دادند که هیچ پودری بدون استفاده از کمک خشک کن تولید نشد. با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی، بازده تولید پودر و جریان پذیری افزایش، در حالی که از مقدار رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، دانسیته ضربه، دانسیته ذره و جاذب الرطوبه بودن کاسته شد. از سوی دیگر دمای هوای ورودی بالاتر موجب افزایش انحلال پذیری پودرها گردید اما با افزایش غلظت صمغ عربی، این مقدار کاهش یافت. در نهایت ذرات توسط میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص گردید که پودرهای تولید شده در غلظت‌های کمتر حامل ذراتی با سطوح صاف تر، در حالی که غلظت‌های بالاتر صمغ عربی ذراتی نامنظم با چروکیدگی‌های بیشتری داشتند. در این تحقیق، پودرهای خشک شده حاصل از 40% صمغ عربی در 180°C ، بالاترین بازده تولید پودر و بهترین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی را از خود نشان دادند. با در نظر گرفتن همه پارامترها، نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در تولید اقتصادی پودر عصاره مالت با بالاترین بازده تولید، بهترین ویژگی‌های فیزیکی، پایداری میکروبیولوژیکی و جریان پذیری در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این محصول می‌تواند بعنوان نوشیدنی فوری و جزء طعم دهنده در ژله، بستنی، ماست، آبنبات و قنادی استفاده شود.

واژه های کلیدی: بازده تولید پودر، پودر عصاره مالت، خشک کردن پاششی، ریزساختار، صمغ عربی.

1- مقدمه

جو از خانواده غلات می باشد که از زمان های قدیم به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گرفت. امروزه حدود 90-80 درصد جو تولیدی برای خوراک دام ها و تولید مالت مورد استفاده قرار می گیرد. عصاره مالت فرآورده ای است که از تبخیر و تغلیظ نمودن عصاره آبی دانه های غلات خصوصاً جو که فرآیند مالت سازی را گذرانده اند، بدست می آید. فرآیند مالت سازی شامل جوانه زدن کنترل شده دانه های جو یا گاهی سایر غلات در شرایط کنترل شده دما و رطوبت نسبی و بدست آوردن مالت سبز و در نهایت خشک کردن آن است. عصاره مالت در تولید آب نبات، تولید آبجو، سس ها و صنایع پخت، قنادی، غذای کودک، شکلات، داروسازی و کارخانجات لبنی کاربرد گسترده ای دارد (1). خشک کردن، قدیمی ترین روش نگهداری فرآورده های غذایی می باشد که توسط بشر به کار گرفته شده است. هزاران سال است که بشر از روش های خشک و یا دودی کردن جهت نگهداری گوشت، ماهی، میوه ها و سبزیجات استفاده می کند (2). به دلیل تغییر سبک زندگی، خصوصاً در جهان توسعه یافته، تقاضای زیادی برای انواع وسیعی از محصولات خشک شده با تأکید بر کیفیت بالا و تازگی ماده غذایی وجود دارد. در بین انواع روش های خشک کردن، خشک کردن پاششی گسترده ترین فرآیند صنعتی مورد استفاده شامل تولید ذرات و خشک نمودن آن ها است. این روش برای تولید مداوم مواد جامد خشک در اشکال پودر، گرانول و آگلومره ها از خوراک مایع به شکل محلول، امولسیون و سوسپانسیون های قابل پمپ بسیار مناسب می باشد (3). از مزایای خشک کردن پاششی می توان به اقتصادی و انعطاف پذیر بودن فرآیند اشاره کرد. همچنین، به دلیل زمان بسیار کوتاه فرآیند و عدم افزایش دمای محصول به بیش از 100°C، ارزش تغذیه ای و کیفیت محصول حفظ می شود (4 و 5). این ویژگی سبب کاربرد گسترده این فرآیند برای ریزپوشانی انواع ترکیبات دارویی و زیست فعال حساس به اکسیداسیون، حرارت یا سایر شرایط نامساعد محیطی در صنایع غذایی و داروسازی شده

است (6،7 و 8). اما خشک کردن پاششی کنسانتره، شربت و آبمیوه ها به دلیل غنی بودن از قندهایی با وزن مولکولی پایین (مانند فروکتوز، گلوکز و ساکارز)، و اسیدهای آلی (سیتریک، تارتاریک و مالیک) که منجر به پائین بودن دمای انتقال شیشه ای و چسبندگی این محصولات می شوند در شرایط معمول بسیار دشوار است (3،8 و 9). چسبیدن این قطرات به هم یا به جداره های خشک کن در طول فرآیند موجب کاهش بازده تولید محصول، افت کیفیت (در نتیجه باقی ماندن محصول درون خشک کن و سوختن آن) و ضررهای اقتصادی فراوانی می شود (10). رایج ترین راه حل جهت کاهش چسبندگی این محصولات، استفاده از ترکیبات کمک خشک کن با وزن مولکولی بالا مانند صمغ عربی، انواع نشاسته و مشتقات آن مانند مالتودکسترین است (11 و 12). در بین حامل های مختلف، صمغ عربی با دارا بودن حلالیت بالا و ویسکوزیته پائین در غلظت های بالا، و مقدار کمی پروتئین در ترکیب خود از قابلیت تشکیل امولسیون برخوردار است. این ویژگی ها موجب کاربرد گسترده آن بعنوان عامل دیواره در ریزپوشانی انواع ترکیبات طعمی، روغن ها مانند روغن بزرک (13)، روغن قهوه سبز (14) و محصولات چسبنده نظیر آب شاتوت (15) و پالپ لولو¹ (16) با استفاده از خشک کردن پاششی شده است. همچنین، در تحقیق مشابهی اثر نسبت های مختلف مالتودکسترین و دمای هوای مختلف خشک کردن بر کارایی این حامل بر شاخص های جریان پذیری پودرهای عصاره مالت خشک شده به روش پاششی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از بهبود و حفظ رفتار جریان پذیری پودرها در طی نگهداری در نتیجه افزایش دمای هوا و غلظت مالتودکسترین از طریق افزایش اندازه، کاهش چسبندگی و اصطکاک بین ذرات تولید شده بود (17). اما با توجه به اینکه فرآیند خشک کردن پاششی به شدت تحت تاثیر نوع و غلظت حامل، همچنین اثر متفاوت دمای هوای ورودی بسته به ترکیب کمک خشک کن قرار می گیرد. با در نظر گرفتن اینکه تا کنون هیچ تحقیقی در خصوص ارزیابی

داشته شدند. دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی متغیرهای فرآیند بودند، بدین ترتیب که خوراک با صمغ عربی در غلظت‌های (20، 30 و 40%) وزنی-وزنی، براساس وزن مرطوب عصاره مالت تهیه و با هوای ورودی با دمای (140°C، 160°C و 180°C) و بصورت هم‌جهت با خوراک برای خشک کردن استفاده گردید. آب مقطر به مدت 10 دقیقه قبل و بعد از فرآیند خشک کردن به‌عنوان خوراک به دستگاه داده شد (17).

2-3- بازده تولید پودر

بازده تولید محصول به‌صورت نسبت درصد جرمی محصول بدست آمده به جرم کل ماده جامد موجود در خوراک (بر حسب ماده خشک) محاسبه گردید (2).

2-4- مقدار رطوبت و فعالیت آبی

حدود 2 گرم پودر در یک پتری دیش به مدت 2-3 ساعت در یک آون در دمای (105±2°C) قرار داده شد، در نهایت در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید، فرآیند خشک شدن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه می‌یابد. فعالیت آبی پودرهای عصاره مالت نیز با دستگاه سنجش فعالیت آبی (Rotronic، آلمان) تعیین شد (18).

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

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 آون‌گذاری می‌باشند.

2-5- دانسیته توده، ضربه و ذره

مقدار دانسیته توده با افزودن تدریجی 2 گرم پودر عصاره مالت به استوانه مدرج (10ml) و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، بصورت (گرم بر میلی لیتر) محاسبه گردید. سپس با استفاده از دانسیتومتر ضربه‌ای، ضربات مداومی به استوانه وارد شد تا زمانی که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود (میانگین 500 ضربه) و دانسیته توده حاصل از ضربه بدست آمد (19). برای محاسبه

صمغ عربی به عنوان حامل و اثر دماهای مختلف بر کارایی آن در تولید پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی انجام نگرفته است. لذا هدف از این مطالعه، ارزیابی تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی به عنوان حامل و کمک فرآیند بر بازده تولید پودر، خواص فیزیکی و عملکردی محصول، شاخص‌های جریان‌پذیری میکرو-ساختار پودرهای عصاره مالت خشک شده به روش پاششی می‌باشد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده‌سازی خوراک

عصاره مالت (به مالت، شهرکرد، ایران) و صمغ عربی (KBR، هند) به صورت مجزا در آب مقطر با دمای 40°C و با استفاده از همزن مغناطیسی حل، سپس با یکدیگر مخلوط گردیدند، به گونه‌ای که غلظت ماده جامد کل محلول (بریکس) در خوراک نهایی با استفاده از رفاکتومتر دستیبه 40% تنظیم گردید.

2-2- خشک کردن پاششی

در این تحقیق از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس نیمه-صنعتی (مهام صنعت، نیشابور، ایران) استفاده گردید. محفظه خشک‌کن به‌صورت استوانه‌ای با قسمت تحتانی مخروطی شکل با قطر قسمت استوانه‌ای 1m و ارتفاع کل محفظه 2m بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی پرستالتیک با دبی تغذیه متغیر و ظرفیت حداکثر 3l مایع در ساعت با فشار 1bar برای ارسال خوراک به نازل است. فرآیند پاشش توسط نازل چرخشی با قطر 5cm و قابلیت چرخش توسط هوای فشرده، صورت می‌گیرد. با توجه به چسبندگی بودن محصول و این‌که هیچ پودری در صورت عدم استفاده از صمغ عربی تولید نگردید، بر اساس آزمون و خطاهای اولیه انجام گرفته و دستیابی به مجموعه‌ای از شرایط بهینه بازده تولید برای کلیه آزمون‌ها، 9 محصول در 3 تکرار تولید و در همه آزمون‌ها، دور نازل، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار نازل به مقدار ثابتی به ترتیب در 18000rpm، 5ml/min، 1°C±30 و 1/1±0/4 بار نگاه

2-9- میکروسکوپ الکترونی روبشی

ساختار ذرات پودر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (هیتاچی، مدل PS-230، ژاپن) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها به طور مجزا با استفاده از نوار چسب‌های دوسویه بر صفحه‌های آلومینیومی قرار گرفتند. سپس عمل روکش‌دهی ذرات با استفاده از لایه نازکی از طلا انجام شد. در نهایت هر نمونه پوشش‌دهی شده به میکروسکوپ منتقل و مشاهده ساختار سطحی ذرات صورت گرفت (5).

2-10- آنالیز آماری

در پژوهش حاضر دو فاکتور عددی دمای هوای فرآیند و غلظت صمغ عربی (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 SPSS نسخه 19 مورد ارزیابی قرار گرفتند تا فاکتورهای مؤثر از لحاظ آماری شناسایی شوند و اثر دما و غلظت بر میانگین‌ها جهت بررسی معنی‌دار بودن داده‌ها در ($P < 0.05$) مشخص گردید.

3- نتایج و بحث**3-1- بازده تولید پودر**

همان‌گونه که در شکل 1 مشاهده می‌شود، بازده تولید پودرهای عصاره مالت به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر دمای هوای ورودی (به‌ویژه از 140 به 160°C) و غلظت صمغ عربی قرار گرفت ($P < 0.05$). افزایش دمای هوای ورودی با افزایش ضریب انتقال هم زمان جرم و انرژی و کاهش احتمال برخورد و چسبیدن ذرات نیمه خشک به یکدیگر و به دیواره خشک‌کن که در نهایت موجب تشکیل رسوب می‌گردد، بازده تولید پودر افزایش می‌یابد. همچنین، افزایش غلظت حامل نیز با افزایش دمای انتقال شیشه‌ای و کاهش چسبندگی ذرات/قطرات پاشیده شده موجب بهبود کارایی‌فرآیند و افزایش درصد بازیابی تولید پودر می‌شود (25).

دانسته ذره پودر از یک پیکنومتر آزمایشگاهی (50ml) 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 (20).

2-6- جریان پذیری (زاویه استاتیک ریپوز)

مقدار 10 گرم پودر عصاره مالت را وزن و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی 12 میلی‌متر عبور داده تا بر یک سطح افقی صاف ریخته شده و تشکیل یک توده دهد. زاویه ریپوز از طریق زاویه شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید (21). مقادیر رابطه تجربی بین ویژگی‌های جریان‌پذیری پودرها و نتایج حاصل از آزمون زاویه ریپوز بر اساس تحقیقات جیناپونگ و همکاران به ترتیب از 25-30 درجه برای جریان‌پذیری عالی و بیش از 66 درجه برای جریان‌پذیری بسیار بد (عدم جریان‌پذیری آزاد) بیان شده است (22).

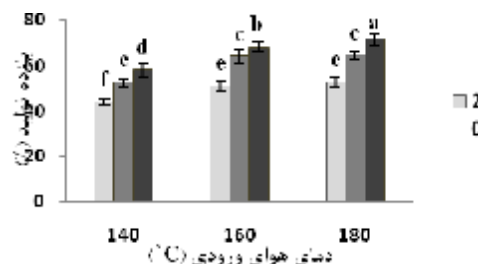
2-7- اندازه‌گیری شاخص انحلال‌پذیری

1 گرم پودر به دقت به 100ml آب مقطر تحت شرایط هم زدن با یک همزن مغناطیسی با سرعت 400rpm بمدت 5 دقیقه اضافه گردید. مخلوط حاصل در 3000rpm برای 5 دقیقه سانتریفوژ شد. حجم 25ml از محلول فوقانی جدا و به یک ظرف که از قبل وزن گردیده منتقل و در 105°C بمدت 5 ساعت خشک گردید. وزن ماده جامد باقی‌مانده حاصل از حجم محلول خشک شده در ظرف نسبت به حجم کل برای محاسبه درصد حلالیت نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت (23).

2-8- میزان جاذب الرطوبه بودن

قابلیت جاذب الرطوبه بودن پودر به شکل مقدار رطوبت (گرم آب جذب شده توسط 100 گرم پودر) طی 7 روز نگهداری در دمای 25°C و رطوبت نسبی $\text{RH} = 90\%$ در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید باریوم تعیین گردید (24).

حامل موجب افزایش درصد بازیابی تولید پودر گردید



شکل 1- اثر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی بر بازده تولید پودر عصاره مالت. درصدهای 20، 30 و 40% در شکل، بیان‌کننده غلظت‌های مختلف صمغ عربی می‌باشند.

3-2- مقدار رطوبت و فعالیت آبی

مقدار رطوبت بر جریان‌پذیری، چسبندگی و قابلیت نگهداری پودرها به علت اثر بر دمای انتقال شیشه‌ای و رفتار کریستالیزاسیون موثر است (29). جدول 1 مقادیر رطوبت و فعالیت آبی پودرهای عصاره مالت خشک شده به روش پاششی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، افزایش دما بیشترین اثر را بر کاهش مقدار رطوبت پودرها دارا بود ($P < 0.05$). افزایش دمای هوای ورودی به علت افزایش اختلاف دمای بین قطرات متمیزه شده خوراک و محیط خشک کن، در نتیجه افزایش سرعت خروج و حذف رطوبت از سطح ذرات منجر به کاهش مقدار رطوبت پودرها می‌گردد. مقدار رطوبت پودرهای عصاره مالت در این تحقیق بین 1/18 تا 2/38 درصد متغیر بود. مقدار رطوبت پودرهای عصاره مالت در این تحقیق نزدیک به مقدار رطوبت پودرهای حاوی روغن ماهی در محدوده 1/3-1/7 درصد (30) و بیش از مقدار رطوبت پودرهای آب آناناس در حدود 1/18 درصد (31) بود.

این یافته‌ها موافق با نتایج سایر محققین است که اثر افزایش دما بر بهبود بازده تولید پودرهای پیگمان بتاسیانین آمارانتوس¹ (24)، آب پرتقال (26)، عصاره آکایی (27)، عصاره آبی چای کوهی (28)، آب شاه‌توت (15) و کنسانتره آب چغندر قند (29) گزارش کردند. همچنین، در تحقیقات انجام گرفته توسط ندیم و همکاران (28) و گولا و آداموپولوس (32) به ترتیب بر تولید پودر حاوی عصاره آبی چای کوهی و کنسانتره آب پرتقال، افزایش غلظت

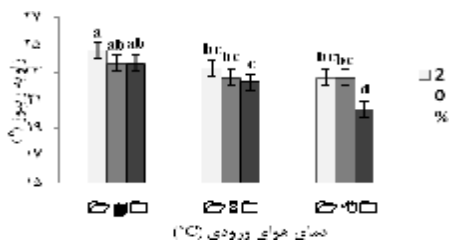
جدول 1- اثر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودرهای عصاره مالت

مقدار صمغ عربی (%)	دما (°C)	رطوبت (%)	فعالیت آبی	دانسیته توده (g/ml)	دانسیته ضربه (g/ml)	دانسیته ذره (g/ml)
20	140	2/38 ^a	0/221 ^a	0/665 ^a	0/773 ^a	1/403 ^a
	160	2/14 ^b	0/213 ^b	0/614 ^{bc}	0/737 ^b	1/251 ^b
	180	1/34 ^d	0/203 ^c	0/605 ^c	0/662 ^c	1/173 ^c
30	140	2/27 ^{ab}	0/193 ^d	0/625 ^b	0/723 ^b	1/367 ^a
	160	1/66 ^c	0/162 ^e	0/553 ^e	0/641 ^d	1/403 ^a
	180	1/23 ^d	0/124 ^f	0/532 ^f	0/617 ^e	1/122 ^c
40	140	2/23 ^{ab}	0/126 ^f	0/566 ^d	0/681 ^c	1/237 ^b
	160	1/26 ^d	0/109 ^g	0/544 ^{ef}	0/627 ^{de}	1/123 ^c
	180	1/18 ^d	0/093 ^h	0/512 ^g	0/609 ^e	1/025 ^d

خصوص نتایج مشابه با اثر افزایش غلظت حامل بر مقدار دانسیته پودرها می توان به کاهش دانسیته توده پودرهای آب هندوانه (11)، پیگمان آمارانتوس (24)، پودر آکایی (27)، پودر گاک (33) و پودر پالپ تمبر (34) اشاره نمود. به طور کلی، دانسیته توده به اندازه، شکل و توزیع اندازه ذرات، رطوبت، ترکیب شیمیایی، میزان هوای محبوس شده در داخل ذره بستگی دارد، که این عوامل به ویژگی های خوراک، میزان هوای ورودی، درجه حرارت و زمان خشک کردن، عملیات فرآوری و حمل و نقل بستگی دارد (9). دانسیته ضربه نیز تحت تأثیر توزیع اندازه ذرات قرار می گیرد. به طور مثال، در صورتی که درصد ذرات درشت موجود در پودر بیشتر باشد در اثر ضربه حجم تغییر زیادی پیدا نمی کند بنابراین دانسیته ضربه ای کوچکتر می شود. اما اگر علاوه بر ذرات درشت، ذرات ریز هم با نسبت مشابه در پودر وجود داشته باشد در اثر ضربه، ذرات ریز فضای بین ذرات درشت را اشغال کرده و در نتیجه تغییر حجم، زیاد بوده و دانسیته ضربه بیشتر می شود.

3-4- جریان پذیری (زاویه ریوز)

شکل 2، اثر غلظت های مختلف حامل و دمای هوای ورودی بر مقدار زاویه ریوز پودرهای عصاره مالت را نشان می دهد. در بین تیمارهای مختلف، نمونه های تولید شده با غلظت 40% صمغ عربی و در دمای 180°C کمترین زاویه ریوز را دارا بودند ($P < 0.05$). افزایش دمای هوای ورودی از طریق کاهش مقدار رطوبت، افزایش اندازه ذرات، کاهش تشکیل پل های مایع بین ذرات و نیروهای موئینگی در بهبود جریان پذیری پودرها نقش ایفا می کند (22).

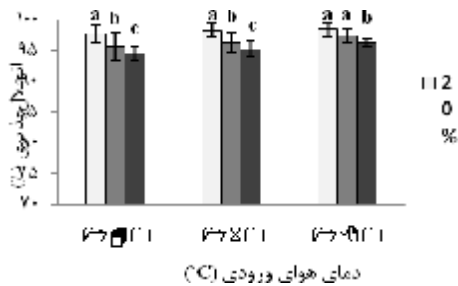


شکل 2- اثر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی بر زاویه ریوز پودر عصاره مالت. درصد های 20، 30 و 40% در شکل، بیان کننده غلظت های مختلف صمغ عربی می باشند.

در تحقیقات مشابهی افزایش دمای هوای ورودی منجر به موجب کاهش رطوبت پودرهای آب هندوانه (11)، پالپ گوجه فرنگی (19)، کنسانتره آب پرتقال (32)، پودر گاک (33)، روغن ماهی ریزپوشانی شده (30) و کنسانتره آب چغندر قند (29) گردید. اما مقدار فعالیت آبی پودرهای عصاره مالت به عنوان عاملی تعیین کننده در پایداری و عمر ماندگاری پودرهای غذایی تحت تأثیر دمای هوای فرآیند و غلظت صمغ عربی قرار گرفت. بدین شکل که با افزایش دما و غلظت حامل، از فعالیت آبی نمونه ها کاسته شد. فعالیت آبی به شکل میزان آب در دسترس برای فعالیت و تکثیر میکروارگانیسم های مختلف تعریف می شود. مقدار فعالیت آبی پودرهای عصاره مالت خشک شده به روش پاششی (کمتر از 0/6) نشان دهنده پایداری میکروبیولوژیکی نمونه ها است. علت آن عدم فعالیت و قابلیت رشد و تکثیر میکروارگانیسم های مختلف (باکتری، کپک و مخمر) در فعالیت آبی کمتر از این مقدار است (11).

3-3- دانسیته توده، ضربه و ذره

جدول 1، مقادیر دانسیته توده، ضربه و ذره پودرهای عصاره مالت خشک شده به روش پاششی را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، مقادیر دانسیته ذرات به طور قابل ملاحظه ای تحت تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی قرار گرفت ($P < 0.05$). سرعت بیشتر تبخیر رطوبت در نتیجه افزایش دمای هوای ورودی موجب افزایش تخلخل، کاهش چروکیدگی و تولید ذرات توخالی می شود که در نهایت این عوامل موجب کاهش دانسیته ذرات می شوند. افزایش غلظت حامل نیز با کاهش تولید ذرات ترموپلاستیک و افزایش هوای به دام افتاده درون ذرات در طول پاشش تا فرآیند خشک شدن موجب کاهش مقدار دانسیته ذرات می شود. این نتایج در تطابق با یافته های سایر محققین است که گزارش کردند افزایش دما موجب کاهش دانسیته توده پودرهای پیگمان آمارانتوس (24)، آب پرتقال (18)، پودر آکایی (27)، کنسانتره آب چغندر قند (29)، کنسانتره آب پرتقال (32) و پودر گاک (33) گردید. در



شکل 3- اثر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی بر درصد انحلال پذیری پودر عصاره مالت. درصدهای 20، 30 و 40% در شکل، بیان کننده غلظت‌های مختلف صمغ عربی می‌باشند.

با افزایش غلظت حامل نیز حلالیت پودرهای عصاره مالت تولید شده کاهش یافت. این امر بسته به نوع و خصوصیات حامل مورد استفاده در فرآیند دارد. به‌طور مثال، وانگ و ژو (25) اثر حامل‌های مختلف مانند مخلوط سلولز و مالتودکسترین و یا نشاسته مومی و مالتودکسترین بعنوان حامل با نسبت ثابت 30w/v% به محلول خوراکی را بر حلالیت پودرهای سس سویا بررسی کردند. پودرهای تولید شده تنها با مالتودکسترین حلالیت 97/9% و با افزودن سلولز و یا نشاسته مومی به مالتودکسترین این مقدار به 80% کاهش یافت. کانو و همکاران، نیز گزارش نمودند که با افزایش غلظت کمک خشک‌کن، حلالیت پودرهای انبه خشک شده کمتر می‌شود (24). در تحقیقات دیگری نیز، افزایش دما موجب افزایش حلالیت پودرهای کنسانتره آب پرتقال (32)، عصاره آبی چای کوهی (28)، پودر آب میوه جامون (5) و افزایش مقدار حامل موجب کاهش حلالیت پودرهای عصاره تفاله آسیرولا (33) گردید.

3-6- جاذب الرطوبه بودن

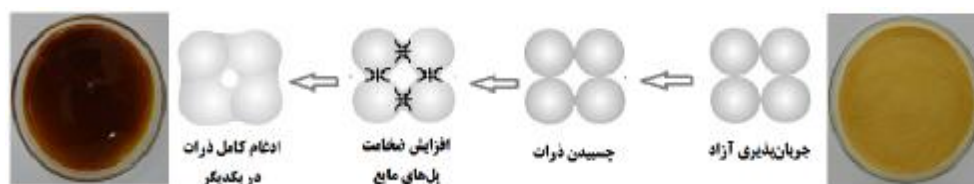
همان گونه که در شکل 4 مشاهده می‌شود، مقدار جاذب-الرطوبه بودن پودرهای عصاره مالت به‌طور مشخصی تحت تأثیر غلظت صمغ عربی قرار گرفت ($P < 0.05$). مقدار جاذب الرطوبه بودن نمونه‌ها بین 21/32 تا 28/92% متغیر بود. این محدوده از جذب رطوبت در نمونه‌ها نزدیک به مقادیر جاذب الرطوبه بودن پودرهای آب میوه جامون (5) و پالپ

اما، افزایش غلظت حامل از طریق افزایش ویسکوزیته و اندازه ذرات تولیدی، کاهش سطح تماس، اتصالات، واکنش‌ها و چسبیدن ذرات مجاور موجب بهبود جریان پذیری پودرها می‌شود (34). در تحقیق مشابهی، افزایش دما، افزایش غلظت حامل و نسبت جایگزینی مالتودکسترین با صمغ درخت بادام زمینی، موجب افزایش جریان پذیری پودرهای تفاله آسیرولا گردید (35). کاهش مقدار حامل و دمای هوای فرآیند با ایجاد سطحی چسبنده در ذرات/قطرات پاشیده شده درون محفظه موجب ادغام و چسبیدن ذرات مجاور و کلوخه‌ای شدن پودرها در طول نگهداری می‌شوند. کلوخه‌ای شدن مسئله جدی است که بر کیفیت و جریان پذیری پودرهای غذایی اثر گذار است. در طول این فرآیند، ذرات از طریق تشکیل پل‌های مایع به هم چسبیده و جریان پذیری آزاد پودرها متوقف می‌شود. اندازه، مورفولوژی و دمای انتقال شیشه‌ای ذرات از جمله عوامل موثر بر میزان کیکی شدن پودرهای غذایی هستند (36).

3-5- انحلال پذیری

شکل 3 اثر افزایش دمای هوای ورودی و غلظت حامل بر انحلال پذیری پودرهای عصاره مالت خشک شده به روش پاششی را نشان می‌دهد. حلالیت پودرهای عصاره مالت در این تحقیق بین 94/53 تا 98/44 درصد متغیر بود. افزایش دمای هوای ورودی (از 140 به 180°C) به‌ویژه در تیمارهای تولید شده با غلظت‌های 30 و 40% صمغ عربی موجب افزایش انحلال پذیری پودرها شد. اما، افزایش غلظت صمغ عربی منجر به کاهش حلالیت نمونه‌ها شد ($P < 0.05$). در تحقیقات مشابهی، افزایش دما موجب افزایش حلالیت پودرهای عصاره آبی چای کوهی (27)، پودر آب میوه جامون (5) و کنسانتره آب پرتقال (32) گردید. همچنین، این یافته موافق با نتیجه حاصل از تحقیقات والتون است که بیان نمود با افزایش درجه حرارت هوای خشک کردن، اندازه ذره افزایش یافته که منجر به کاهش زمان لازم برای آبیگری مجدد می‌شود (37).

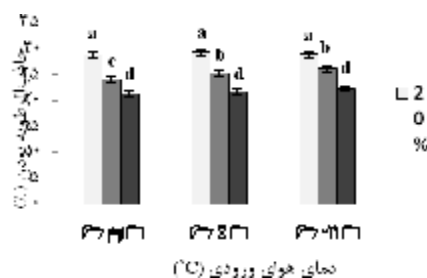
خصوصاً اثر افزایش مقدار حامل بر کاهش جاذب الرطوبه- بودن پودرهای آکایی (27)، عصاره تفاله آسیرولا به ویژه با افزایش جایگزینی مالتود کسترن با صمغ درخت بادام زمینی (35)، پالپ تمبر (34) و آب چغندر قند (29) بود. جاذب الرطوبه بودن از شاخص های موثر بر پایداری و قابلیت نگهداری محصولات پودری است که تحت تأثیر میزان واکنش بین آب و ترکیبات غذایی قرار می گیرد (38). جذب رطوبت در مراحل اولیه از طریق گروه های هیدروفیل و جاذب موجود در سطح ذرات انجام می شود. مقدار جذب رطوبت بستگی به ترکیب ماده اولیه، نوع و غلظت حامل مورد استفاده و دمای انتقال شیشه ای محصول نهایی دارد. شکل 5، تغییرات ظاهری ناشی از جذب رطوبت توسط ذرات را نشان می دهد. در نتیجه چسبیدن ذرات مجاور از طریق تشکیل پل های مایع فرآیند کلوخه ای شدن در مراحل اولیه انجام می گیرد (30). به علت محلول در آب بودن ذرات، پل های مایع حاوی ترکیبات هسته بوده و موجب افزایش ویسکوزیته پل های مایع و چسبندگی شدید آن ها به یکدیگر خواهد شد (39). اما با ادامه جذب رطوبت و ادغام کامل ذرات در یکدیگر فرآیند مایع شدن رخ می دهد که در آن ویژگی های ظاهری، ساختاری و رفتار جریانی پودرها به طور کامل تغییر و از دست می رود.



شکل 5- تغییرات ناشی از جذب رطوبت همراه با از دست دادن جریان پذیری و فرآیند مایع شدن

به ترتیب با بزرگنمایی 65 و 300 برابر) ذرات پودر عصاره مالت تولید شده در غلظت 20% صمغ عربی را نشان می دهد. توزیع اندازه ذرات گسترده، ذرات با اشکال غیریکنواخت (سطوح صاف، چروکیده، کروی یا نامنظم) قابل مشاهده است. همچنین توده ای شدن نسبی و چسبندگی بین ذرات مجاور قابل تشخیص است.

تمبر تولید شده با حامل های مختلف (34) بود که مقدار این شاخص را برای نمونه های فوق به ترتیب 17-25/33 و 16/61-28/96% گزارش کردند. اگرچه پودر پالپ لولو (16) و پیگمان آمارانتوس (24) نیز به ترتیب جاذب الرطوبه- بودن 35-60 و 45-50% دارا بودند که بسیار بالاتر از مقادیر به دست آمده در این تحقیق بود.

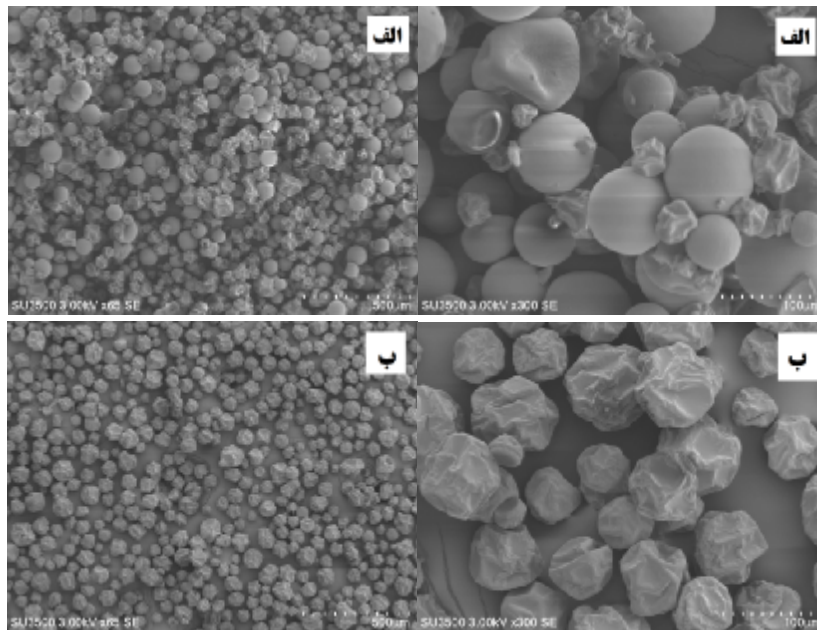


شکل 4- اثر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی بر درصد جاذب الرطوبه بودن پودر عصاره مالت. درصدهای 20، 30 و 40% در شکل، بیان کننده غلظت های مختلف صمغ عربی می باشند.

حامل های مختلف از طریق تغییر در ترکیب ذرات، تشکیل یک لایه فیلم یا پوسته با جاذب الرطوبه بودن پائین در اطراف ذرات و افزایش دمای انتقال شیشه ای موجب کاهش قابلیت جذب رطوبت و تغییرات ثانویه ناشی از آن می شوند. یافته های این تحقیق موافق با بررسی های انجام گرفته در

3-7- میکروسکوپ الکترونی

شکل 6، تصاویر میکروسکوپ الکترونی پودرهای عصاره مالت خشک شده به روش پاششی را نشان می دهد. در بین تیمارهای مختلف، اثر افزایش غلظت صمغ عربی در دمای 180°C (به دلیل بالاترین تأثیر بر بازده تولید و ویژگی های محصول) بررسی گردید. شکل الف (سمت راست و چپ



شکل 6- تصاویر میکروسکوپ الکترونی پودرهای عصاره مالت تولید شده در دمای 180°C .

تصاویر سمت راست و چپ به ترتیب بزرگنمایی 65 و 300 برابر. الف) غلظت $20\% \text{ W/V}$ ، ب) غلظت $40\% \text{ W/V}$

افزایش چروکیدگی سطحی ذرات گردید. علت آن انتشار دشوارتر مولکول‌های آب از بین مولکول‌های بزرگتر حامل گزارش شد. در آن تحقیق بیان شد، مقدار چروکیدگی سطحی ذرات ظاهراً ارتباط مستقیم با جزء پروتئینی موجود در حامل دارد (34).

4- نتیجه‌گیری

بازده تولید پودر به عنوان اصلی‌ترین معیار ارزیابی کارایی و اقتصادی بودن فرآیند و همچنین، کلیه ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی (مقدار رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، ضربه و ذره)، عملکردی (شاخص انحلال‌پذیری)، شاخص جریان-پذیری، شاخص‌های پایداری به شرایط نامساعد محیطی (جاذب‌الرطوبه بودن) و ریزساختار ذرات پودر تولیدی به طور کامل تحت تأثیر پارامترهای فرآیند تولید (دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی به عنوان کمک خشک‌کن) قرار می‌گیرند. در بین دماهای ورودی مختلف، دمای 180°C بالاترین اثر را بر ویژگی‌های فوق گذاشت. در مجموع، در بین غلظت‌های مختلف صمغ عربی به کار رفته در این تحقیق، نمونه‌های تولید شده در غلظت $40\% \text{ W/V}$ حامل و

اما با افزایش غلظت حامل به $40\% \text{ W/V}$ (شکل ب)، به دلیل افزایش غلظت و ممانعت از خروج سریع رطوبت از درون ذرات در حین خشک شدن، افزایش چروکیدگی در ذرات ایجاد گردید. از سوی دیگر، افزایش غلظت حامل با کاهش چسبندگی ذرات منجر به تولید ذراتی یکنواخت و مجزاتر با چسبندگی بین‌ذره‌ای کمتر نمود. این یافته‌ها مشابه مشاهدات مانیکا وازاکان و همکاران است که گزارش کردند پودرهای خرما تولید شده با حامل مالتودکسترین ذراتی نسبتاً یکنواخت، صاف و کروی با آگلومره‌های زیاد از خود نشان دادند (40). اما در نمونه‌های بدست آمده با صمغ عربی ذراتی چروکیده‌تر و آگلومریزاسیون کمتری نسبت به نمونه‌های مالتودکسترین مشاهده شد. دمای هوای ورودی، ویسکوزیته و رفتار ویسکوالاستیک مواد دیواره از جمله عوامل موثر بر ساختار سطحی و مورفولوژی ذرات خشک شده به روش پاششی هستند. همچنین، نوع و مقدار ماده دیواره نیز بر مورفولوژی ذرات تأثیر می‌گذارد (30). به‌طور مثال، در پودرهای پالپ تمبر خشک شده به روش پاششی نیز ذراتی با دیواره سالم و بدون ترک خوردگی مشاهده شد. غلظت‌های بالای کنسانتره آب پنیر موجب

10. Truong, V., Bhandari, B. R., and 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.
11. Bhandari, B. R., Datta, N., and Howes, T. 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying technology*, 15: 671-684.
12. Quek, S. Y., Chok, N. K., and Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46: 386-392.
13. Goula, A. M., and Adamopoulos, K. G. 2012. A method for pomegranate seed application in food industries: seed oil encapsulation. *Food and bioproducts processing*, 90: 639-652.
14. Tonon, R. V., Grosso, C. R., and Hubinger, M. D. 2011. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44: 282-289.
15. Silva, V. M., Vieira, G. S., and Hubinger, M. D. 2014. Influence of different combinations of wall materials and homogenisation pressure on the microencapsulation of green coffee oil by spray drying. *Food Research International*, 61: 132-143.
16. Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproduct processing*, 90: 667-675.
17. Igual, M., Ramires, S., Mosquera, L. H., and Martínez-Navarrete, N. 2014. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256: 233-238.
18. Shrestha, A. K., Ua-Arak, T., Adhikari, B. P., Howes, T., and Bhandari, B. R. 2007. Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*, 10: 661-673.
19. Goula, A. M., and Adamopoulos, K. G. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified در دمای 180°C ، بهترین نتیجه را از نظر بازده فرآیند، حداقل مقدار رطوبت و فعالیت آبی، انحلال پذیری، قابلیت جذب رطوبت، بالاترین جریان پذیری و ذراتی با حداقل چسبندگی دارا بود.
- 5- منابع**
1. پیغمبردوست، س. ه. 1388. تکنولوژی فرآورده های غلات: جلد دوم. انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز (300 صفحه).
2. سرابندی، خ و پیغمبردوست، س. ه. 1394. تاثیر برخی پارامترهای تولید و زمان نگهداری بر ویژگی های جریان-پذیری پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*. شماره 1، 60-51.
3. Brennan, J. G. 2006. Evaporation and Dehydration. In J. G. Brennan (Ed.), *Food Processing Handbook* (pp. 85, 96-96, 105-110). Wiley- VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.
4. Bhandari, B. R., Patel, K. C., and Chen, X. D. 2008. Spray drying of food materials-process and product characteristics. *Drying technologies in food processing*, 4: 113-157.
5. Jafari, S. M., Assadpoor, E., He, Y., and Bhandari, B. 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology*, 26: 816-835.
6. Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S., and Sabeena, M. 2015. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274: 37-43.
7. Fang, Z., and Bhandari, B. 2012. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48: 478-483.
8. Frascareli, E. C., Silva, V. M., Tonon, R. V., and Hubinger, M. D. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and bioproducts processing*, 90: 413-424.
9. Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., and Truong, 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.

- containing fish oil. *Food Research International*, 62: 344-352.
31. Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V., and Oliveira, V. M. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice—effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64: 285-287.
32. Goula, A. M., and Adamopoulos, K. G. 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11: 342-351.
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: 385-392.
34. Bhusari, S. N., 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.
35. Moreira, G. É. G., Costa, M. G. M., de Souza, A. C. R., de Brito, E. S., de Medeiros, M. D. F. D., and de Azeredo, H. M. 2009. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT-Food Science and Technology*, 42: 641-645.
36. Fitzpatrick, J. J., Barry, K., Cerqueira, P. S. M., Iqbal, T., O'Neill, J., and Roos, Y. H. 2007. Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. *International Dairy Journal*, 17: 383-392.
37. Walton DE. 2000. The morphology of spray-dried particles. A qualitative view. *Drying Technology*, 18:1943-1986.
38. Islam, M.Z., Kitamura, Y., Yamano, Y. and Kitamura, M. 2016. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. *Journal of Food Engineering*, 169: 131-140.
39. Listiohadi, Y. D., Hourigan, J. A., Sleight, R. W., and Steele, R. J. 2005. An exploration of the caking of lactose in whey and skim milk powders. *Australian journal of dairy technology*, 60: 207-216.
40. Manickavasagan, A., Thangavel, K., Dev, S. R. S., Delfiya, D. A., Nambi, E., Orsat, V., and Raghavan, G. S. V. 2015. Physicochemical Characteristics of Date air: I. Drying kinetics and product recovery. *Drying Technology*, 26: 714-725.
20. Krokida, M.K and Maroulis Z.B. 2001. Structural properties of dehydrated products during rehydration. *International Journal of Food Science and Technology*, 36:529-538.
21. Bhandari B.R, Datta N, D'Arcy BR. and Rintoul GB. 1998. Co-crystallization of honey with sucrose. *LWT, Food Science and Technology*, 31:138-142.
22. Jinapong, N., Supphantharika, 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.
23. Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., 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.
24. Cai, Y. Z., and Corke, H. 2000. Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. *Journal of food science*, 65: 1248-1252.
25. Wang, W., & Zhou, W. 2015. Characterisation of spray dried soy sauce powders made by adding crystalline carbohydrates to drying carrier. *Food chemistry*, 168: 417-422.
26. Chegini GR and Ghobadian B, 2007. Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3:230-236.
27. Tonon, R. V., Brabet, C., and Hubinger, M. D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88: 411-418.
28. Nadeem, H. Ş., Torun, M., and Özdemir, F. 2011. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT-Food Science and Technology*, 44: 1626-1635.
29. Bazaria, B., and Kumar, P. 2016. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bioscience*, 14: 21-27.
30. Botrel, D. A., de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., and Yoshida, M. I. 2014. Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles

Powder Produced in a Pilot-Scale Spray Dryer.
Drying Technology, 33: 1114-1123.