مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال دهم، شماره 1، بهار 1394، صفحات 60-51

تأثیر برخی پارامترهای تولید و زمان نگهداری بر ویژگی‌های جریان‌پذیری پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی

خشایار سرابندی[1]، سیدهادی پیغمبردوست[2]

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران

2- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، ایران، ، پست الکترونیکی: peighambardoust@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: 93/2/20 تاریخ پذیرش: 93/6/16

چکیده

سابقه و هدف: جریان‌پذیری یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی پودرها است و تحت شرایط معینی، شمار زیادی از کاربردهای صنعتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شرایط محیطی در طول فرآوری و یا حمل و نقل، از جمله دما، رطوبت، بار الکترواستاتیک و زمان، می‌توانند به شدت جریان‌پذیری پودرها را تحت تأثیر قرار دهند. هدف این مطالعه بررسی تأثیر شاخص‌های فرایند خشک کردن پاششی مانند دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین و زمان نگهداری بر خواص فیزیکی و شاخص‌های جریان‌پذیری پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی بود.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، فرآیند تولید با استفاده از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس پایلوت انجام شد. دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین (DE=18-20) متغیرهای فرآیند بودند. مالتودکسترین به‌عنوان کمک خشک‌کن در غلظت‌های 20، 30 و 40% (w/w) براساس وزن عصاره مالت و هوای ورودی با دمای (140، 160 و 180°C) و به‌صورت هم‌جهت با خوراک برای فرآیند خشک کردن استفاده گردید. تأثیر شرایط تولید و اندازه ذرات بر شاخص‌های جریان‌پذیری (نسبت هاسنر، زاویه استاتیک ریپوز و شاخص تراکم‌پذیری) در طول زمان نگهداری نمونه‌ها در محفظه‌ای بسته (با رطوبت نسبی 44% با استفاده از محلول اشباع نیترات منیزیم) در ($p<0/05$) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: به‌علت جاذب‌الرطوبه بودن پودرها در طول زمان، به‌شدت از جریان‌پذیری پودرها کاسته شد. نتایج نشان دادند که با افزایش دمای هوای ورودی، اندازه ذرات افزایش، اصطکاک کاهش و جریان‌پذیری پودرها افزایش یافت. همچنین، با افزایش غلظت مالتودکسترین، چسبندگی و جاذب‌الرطوبه بودن ذرات بطور معنی‌داری ($p<0/05$) کاهش یافت، که این امر منجر به افزایش جریان‌پذیری پودرها گردید.

نتیجه‌گیری: دمای 180°C و غلظت 40% مالتودکسترین، بهترین تأثیر بر خواص فیزیکی‌شیمیایی و جریان‌پذیری پودرها پس از تولید و در طول نگهداری گذاشتند.

واژگان کلیدی: پودر عصاره مالت، جریان‌پذیری، خشک کردن پاششی، زاویه ریپوز، شاخص تراکم‌پذیری، نسبت هاسنر

• مقدمه

امروزه خشک کردن پاششی به عنوان یک عملیات واحد در صنعت غذا و لبنیات برای تولید پودر با هدف حفظ ترکیبات فعال و مواد مغذی به‌کار می‌رود. خشک کردن پاششی علاوه بر صنایع لبنی و غذایی در صنایع دیگری نظیر داروسازی، حشره کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، مواد شیمیایی سنگین و سبک، شوینده‌ها، پیگمان‌ها، بیوتکنولوژی و سرامیک کاربرد دارد. در صنایع غذایی، خشک کردن پاششی بیشترین کاربرد را در صنایع لبنی، به منظور تولید پودر از شیر و سایر محصولات بر پایه‌ی شیر، دارا می‌باشد. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد این فرآیند، ظرفیت بالای تولید است که می‌تواند از صد گرم تا چندین تن پودر را در هر ساعت تولید نماید. محصول نهایی می‌تواند ذرات پودر با جریان آزاد، متراکم یا دانه‌ای باشد (1). انتقال، نگهداری و استفاده از ذرات جامد تولیدی در صنایع مختلف شیمیایی، غذایی و به‌ویژه در صنعت داروسازی که نزدیک به 80% محصولات به‌فرم ذرات جامد و پودری شکل می‌باشند حائز اهمیت است، از این رو شناسایی برخی از ویژگی‌ها، نظیر جریان‌پذیری پودرها با هدف کنترل بهتر فرآیندهای تولید و ممانعت از مشکلاتی نظیر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]

کلوخه‌ای شدن، توده‌ای شدن و چسبندگی، امری ضروری است (2).

رفتار کلی سیستم‌های گرانولی و پودری به‌طور کلی تابع ویژگی‌های زیر می‌باشد (3):

- ماهیت اصلی ذرات جامد (شامل اندازه، شکل، تخلخل وکریستالی بودن)
- خواص مرتبط با یکپارچگی ذرات (نظیر توزیع اندازه ذرات، یکنواختی و قابلیت تفکیک)
- ویژگی‌های ظاهری پودرها که تحت تأثیر واکنش‌های بین ذرات یا ذرات و شرایط محیط اطراف (نظیر رطوبت، دما) بوجود می‌آیند.

رفتار مواد گرانولی شکل حدود 200 سال است که مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است (4). با این وجود، تاکنون پیش بینی دقیقی از رفتار جریانی پودرها با علم شناخت اندازه، شکل و مقدار رطوبت ذرات میسر نیست (5). با توجه به کمبود اطلاعات و تحقیقات صورت گرفته در رابطه با عوامل موثر بر رفتار جریانی پودرهای تولید شده با استفاده از خشک‌کن پاششی، هدف این مطالعه بررسی تأثیر شاخص‌های فرایند خشک کردن پاششی مانند دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین و زمان نگهداری بر خواص فیزیکی و شاخص‌های جریان‌پذیری پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی بود.

• مواد و روش‌ها

خشک کردن پاششی: در این تحقیق از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس پایلوت (شرکت مهام صنعت، نیشابور، ایران) استفاده شد. محفظه خشک‌کن به‌صورت استوانه‌ای با قسمت تحتانی مخروطی شکل که قطر قسمت استوانه‌ای 1 متر و ارتفاع کل محفظه 2 متر می‌باشد. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی با دبی تغذیه متغیر برای ارسال خوراک به افشانه بود و فرآیند پاشش توسط اتمایزر چرخشی با قطر 5cm و قابلیت چرخش توسط کمپرسور هوا صورت گرفت. تعداد 9 محصول در 3 تکرار تولید و بر طبق جدول 1 جهت انجام آزمایش‌های بعدی کدگذاری شدند. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار اتمایزر به‌ترتیب در 18000 rpm، 10 ml/min، 1±30 °C و 0/1±4 بار ثابت نگاه داشته شدند. دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین متغیرهای فرآیند بوده، بدین ترتیب که خوراک با مالتودکسترین (DE=18-20) در غلظت‌های (۲۰،۳۰ و 40%) وزنی-وزنی، براساس وزن ماده خشک عصاره مالت، تهیه و وارد خشک کن و از هوای ورودی با دمای (140، 160 و 180 °C) و به‌صورت هم جهت برای خشک کردن استفاده گردید. دمای هوای خروجی در طول فرآیند خشک کردن، هر 1 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، سپس در شیشه‌های تیره و دور از نور تا زمان انجام آزمایشات نگهداری گردید. آب مقطر به مدت 10 دقیقه قبل از شروع خشک کردن تا رسیدن دمای خشک‌کن به میزان ثابت، به‌عنوان خوراک به دستگاه داده شد.

جدول1. کد گذاری نمونه‌ها جهت انجام آزمون‌ها

تیمار	1	2	3	4	5	6	7	8	9
دما (°C)	140	160	180	140	160	180	140	160	180
غلظت مالتودکسترین (%)	20	20	20	30	30	30	40	40	40

رطوبت و فعالیت آبی: حدود 2 گرم پودر در یک پتری دیش (که ظرف قبلاً خشک و وزن شده است) وزن گردید. سپس ظرف حاوی پودر به مدت 3-2 ساعت در یک آون با دمای (105 ±2°C) قرار داده شد، در نهایت از آون خارج و در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید. فرآیند خشک شدن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. مقدار رطوبت از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

$$M\% = \frac{W2 - W3}{W2 - W1}$$

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 آون گذاری می‌باشند. فعالیت آبی پودرهای عصاره مالت با دستگاه aw متر (Rotronic، آلمان) تعیین شد. دستگاه یک ساعت قبل از خواندن فعالیت آبی نمونه‌ها، جهت کالیبراسیون روشن گردید. بعد از کالیبراسیون محفظه دستگاه تا محل تعیین شده (دو سوم حجم ظرف) پرشد و سپس فعالیت آبی نمونه‌ها در محدوده دمای 0/5±25 °C خوانده شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار و میانگین آنها گزارش گردید.

اندازه‌گیری پیوستگی (Cohesiveness): پیوستگی پودر با نسبت هاسنر (Hausner ratio; HR) قابل محاسبه می‌باشد. طبقه‌بندی پیوستگی پودر بر اساس نسبت هاسنر در جدول 2 آورده شده است (6).

$$HR = \frac{TD}{BD}$$

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]

در فرمول فوق HR (نسبت هاسنر)، TD (دانسیته حاصل از ضربه، Tapped density)، BD (دانسیته توده، Bulk density) می‌باشند.

جریان‌پذیری (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 تشکیل شده به وسیله شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید (7).

شاخص تراکم‌پذیری (compressibility): عدد شاخص تراکم‌پذیری را می‌توان از رابطه زیر با استفاده از نسبت هاسنر محاسبه نمود (8):

$$CI = 1 - (1/HR)$$

توزیع اندازه ذرات: برای تعیین توزیع اندازهٔ ذرات از سیستم الکی تایلور (شرکت ارس مهر، تبریز، ایران) استفاده شد. این سیستم دارای6 الک با اندازه منافذ متفاوت بوده (112، 125، 150، 180، 200 و 475µm)، که این الک‌ها روی دستگاه ارتعاش کننده و گرداننده که جهت چرخش آن قابل تنظیم می‌باشد قرار داده شد. به این ترتیب که ابتدا الک‌ها را وزن کرده و به میزان 100 گرم پودر روی الک بالایی ریخته شد و سپس در اثر چرخش سیستم به‌مدت 5 دقیقه، پودرها برحسب اندازه جداسازی شدند. پس ازجداسازی، هر یک از الک‌ها به‌همراه پودر وزن گردید. سرانجام وزن پودر باقی‌مانده روی هر الک گزارش شد که بر وزن کل تقسیم و به‌صورت درصد بیان شد (9).

نگهداری در شرایط تسریع شده: مقدار 10 گرم پودر تولید شده در یک پتری دیش بصورت یکنواخت ریخته شد. به‌طوری که برای سهولت در به تعادل رسیدن همه نقاط پودر با محیط اطراف و ایجاد یکنواختی مطلوب، حداکثر ضخامت پودر به کمتر از 1 سانتی‌متر برسد. سپس نمونه‌ها در یک محفظه بسته با ایجاد رطوبت نسبی 44% با استفاده از محلول اشباع نیترات منیزیم، قرار گرفتند. نمونه‌های نگهداری شده در محفظه پس از هر بازه زمانی برداشته و آزمون‌های مورد نظر انجام شد (10).

تجزیه و تحلیل آماری: در پژوهش حاضر سه فاکتور عددی دمای هوای فرآیند، غلظت مالتودکسترین و زمان (هر فاکتور در سه سطح) با کاربرد طرح فاکتوریل کامل و سایر آزمون‌ها با استفاده طرح کاملاً تصادفی ANOVA در سه تکرار مورد مطالعه قرار و اثرات خطی و متقابل فاکتورها با کاربرد آنالیز واریانس و استفاده از نرم افزار SPSS ver.19 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. میانگین تیمارها با آزمون توکی در سطح احتمال خطای 5% مقایسه گردید.

• یافته‌ها

مقدار رطوبت و فعالیت آبی: مقدار رطوبت و فعالیت آبی پودرهای عصاره مالت به ترتیب در محدوده 4/2-0/92 درصد و 0/232-0/076 به‌دست آمد. نتایج نشان دادند که با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین، میزان رطوبت پودرها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($p<0/05$). این امر، به‌دلیل افزایش سرعت انتقال هم‌زمان جرم و انرژی است که میزان رطوبت بیشتری از ذرات تبخیر و در نتیجه، به علت کاهش آب آزاد، از فعالیت آبی پودرها نیز کاسته شد.

نسبت هاسنر: یکی از روش‌های ارزیابی جریان‌پذیری پودرها تعیین نسبت هاسنر پس از ضربه است که به‌شکل میزان افت در دانسیته اولیه به دانسیته توده حاصل از ضربه بیان می‌شود. جدول 2 ارتباط بین مقادیر تجربی حاصل از آزمون را با شاخص‌های جریان‌پذیری پودرها نشان می‌دهد (11). در این تحقیق، مقدار پیوستگی پودرهای عصاره مالت تولیدی بین 1/06-1/124 می‌باشد که نشان دهنده رفتار جریانی خوب پودرها است. با افزایش درجه حرارت ورودی و غلظت مالتودکسترین، میزان پیوستگی پودرهای عصاره مالت به‌دلیل افزایش اندازه ذرات، کاهش سطح تماس بین آنها و پایین بودن رطوبت، کاسته شد.

جدول2. رابطه تجربی بین ویژگی‌های جریان‌پذیری پودرها و نتایج حاصل از دو آزمون زاویه ریپوز و نسبت هاسنر

ویژگی جریانی	زاویه ریپوز	نسبت هاسنر
عالی	25-30	1/00-1/11
خوب	31-35	1/12-1/18
نسبتاً خوب	36-40	1/19-1/25
قابل قبول	41-45	1/26-1/34
ضعیف	46-55	1/35-1/45
خیلی ضعیف	56-65	1/46-1/59
خیلی خیلی ضعیف	> 66	>1/60

زاویه استاتیک ریپوز: در بین تیمارهای مختلف پودرهای عصاره مالت تولید شده بین 19 تا 27 درجه بود. با افزایش دما و غلظت مالتودکسترین از مقدار زاویه ریپوز پودرها به طور معنی‌داری ($p<0/05$) کاسته شد، که نشان دهنده افزایش جریان‌پذیری پودرها بود.

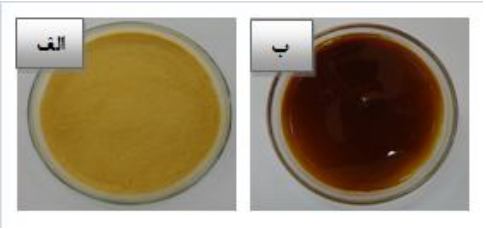
[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]

شاخص فشردگی (تراکم‌پذیری): جدول 3 ارزیابی نوع و ویژگی‌های جریانی پودرها را بر اساس شاخص تراکم‌پذیری نشان می‌دهد (46). تراکم‌پذیری در پودرهای عصاره مالت بین 0/05 تا 0/11 به دست آمد که بر اساس مقادیر تعریف شده در جدول زیر، نشان دهنده اندازه ذرات درشت و جریان‌پذیری خوب می‌باشد. در این بین، پودر عصاره مالت به دست آمده از 40% مالتودکسترین و خشک شده در دمای 180 درجه سانتی‌گراد از کم‌ترین میزان تراکم‌پذیری و بهترین خواص جریانی بر اساس این شاخص برخوردار بود.

جدول3. ارزیابی ویژگی و جریان‌پذیری پودرها با استفاده از شاخص تراکم‌پذیری

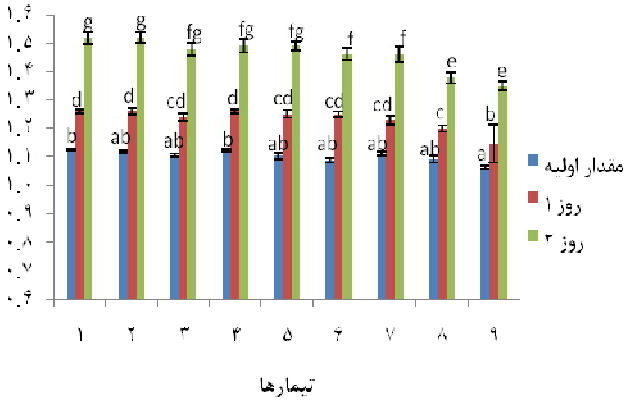
شاخص تراکم-پذیری	نوع جریان	نوع پودر
$0/05 < I_c < 0/15$	عالی	گرانولی، درشت (ماسه‌ای)
$0/15 < I_c < 0/18$	خوب	پودر بدون ذرات نرم و فیبری
$0/18 < I_c < 0/22$	ضعیف	پودر با اندکی ذرات نرم و فشردگی بالای بخشی از ذرات
$0/22 < I_c < 0/35$	بد	پودر با ذرات نرم
$0/35 < I_c < 0/40$	خیلی بد	پودر چسبنده (پیوستگی بالا)
$I_c > 0/40$	غیرقابل قبول	پودر بسیار چسبنده

تأثیر شرایط نگهداری و جذب رطوبت بر جریان‌پذیری پودرها: شکل 1 نشان دهنده تغییر در ماهیت پودر عصاره مالت، به‌دلیل جاذب‌الرطوبه بودن شدید آن طی زمان نگهداری می‌باشد. علت تغییر رنگ و ماهیت پودرهای عصاره مالت، جاذب‌الرطوبه بودن و بروز پدیده‌ای به نام آب شدن (Deliquescence) است که ویژگی‌ها، پایداری فیزیکی و شیمیایی پودرهای غذایی را بشدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این حالت، جذب رطوبت در سطح ذرات از طریق پیوندهای هیدروژنی صورت می‌گیرد. این پدیده وابسته به دما و رطوبت نسبی محیط بوده و طی آن، انواع پودرهای غذایی جاذب الرطوبه (نظیر نمک‌ها و قندها) از حالت جامد به شکل مایع تبدیل می‌شوند. که در این تحقیق، با ادامه فرآیند جذب رطوبت، به نوعی فرآیند بازسازی پودرها و تبدیل شدن به ماده اولیه (عصاره مالت) رخ می‌دهد.



شکل1. تأثیر جاذب‌الرطوبه‌بودن پودرهای عصاره مالت طی نگهداری بر تغییر ماهیت، خواص فیزیکی و جریان‌پذیری، پودر عصاره مالت در روز اول نگهداری (الف)، پودر عصاره مالت در روز چهارم نگهداری (ب).

همان‌گونه که در شکل‌های 2، 3 و 4 مشاهده می‌گردد، طی زمان نگهداری و با توجه به جاذب الرطوبه بودن پودرها، با افزایش مقدار رطوبت جذب شده، به تدریج از جریان‌پذیری پودرهای عصاره مالت کاسته می‌شود. به دلیل افزایش چسبندگی بین ذرات، در نهایت جریان‌پذیری پودرها پس از 2 روز نگهداری در شرایط تعیین شده، به طور کامل متوقف گردید. عموماً تغییر در جریان‌پذیری پودرهای مختلف طی شرایط نگهداری وابسته به ماهیت ماده اولیه (ترکیبات تشکیل دهنده نظیر قندها، میزان چسبندگی و جاذب‌الرطوبه بودن) می‌باشد.



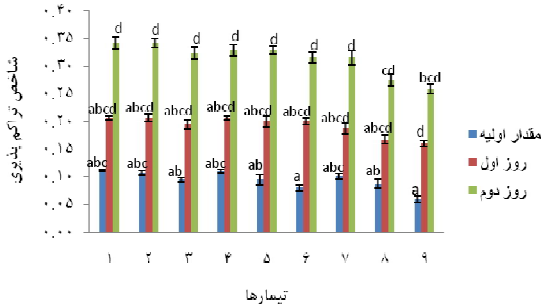
شکل 2. تغییرات پیوستگی پودرهای عصاره مالت در طول زمان نگهداری در شرایط با رطوبت نسبی 44% با استفاده از محلول اشباع نیترات منیزیم

بر اساس اطلاعات شکل 2 و با توجه به مقادیر و روابط موجود در جدول 2، با افزایش پیوستگی پودرها از میزان جریان‌پذیری آنها کاسته شد. بدین صورت که پس از 1 روز نگهداری پودرها در شرایط مورد مطالعه، پیوستگی پودرها به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت و در روز سوم نگهداری به دلیل جذب شدید رطوبت، چسبیدن ذرات به یکدیگر و تغییر ماهیت نسبی پودرها، جریان‌پذیری پودرها به طور کامل

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]

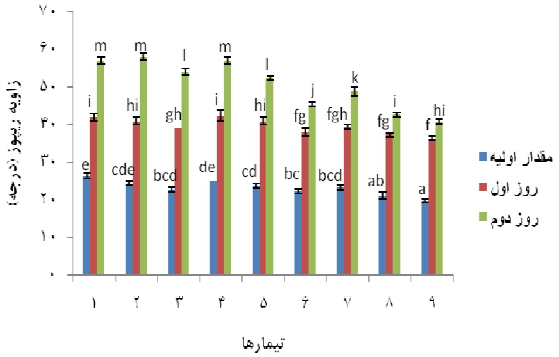
پودرها میسر نیست. در این رابطه تأثیر هر کدام از متغیرهای دمای خشک کردن، غلظت مالتودکسترین و زمان نگهداری بر جریان‌پذیری و پیوستگی پودرهای عصاره مالت معنی‌دار (p<0/05) بود.

با توجه به شکل 3، تراکم‌پذیری در پودرهای عصاره مالت، تحت تأثیر شرایط خشک کردن و زمان نگهداری قرار گرفت و هر یک از این پارامترها بر میزان این شاخص دارای تأثیر قابل ملاحظه‌ای بودند (p<0/05). بدین شکل که کمترین افزایش در میزان تراکم‌پذیری پودرها مربوط به تیمار 9 (40%، 180°C) بود.



شکل 3. تغییرات تراکم پذیری پودرهای عصاره مالت در طول زمان نگهداری در شرایط با رطوبت نسبی 44% با استفاده از محلول اشباع نیترات منیزیم

با توجه به نتایج شکل 4 زاویه ریپوز پودرها در طول نگهداری به‌طور معنی‌داری (p<0/05) افزایش یافت که نشان‌دهنده کاهش جریان‌پذیری به‌علت چسبندگی سطحی، تحت تأثیر جذب رطوبت است. در بین نمونه‌های پودر عصاره مالت، کمترین افزایش در زاویه ریپوز و بهترین حفظ جریان‌پذیری در طول زمان نگهداری به‌ترتیب مربوط به تیمارهای 9 و 8 بوده که مربوط به پودرهای عصاره مالت تولید شده با 40% مالتودکسترین در دماهای 180 و 160°C می‌باشند.



شکل 4. تغییرات زاویه استاتیک ریپوز پودرهای عصاره مالت در طول زمان نگهداری در شرایط با رطوبت نسبی 44% با استفاده از محلول اشباع نیترات منیزیم

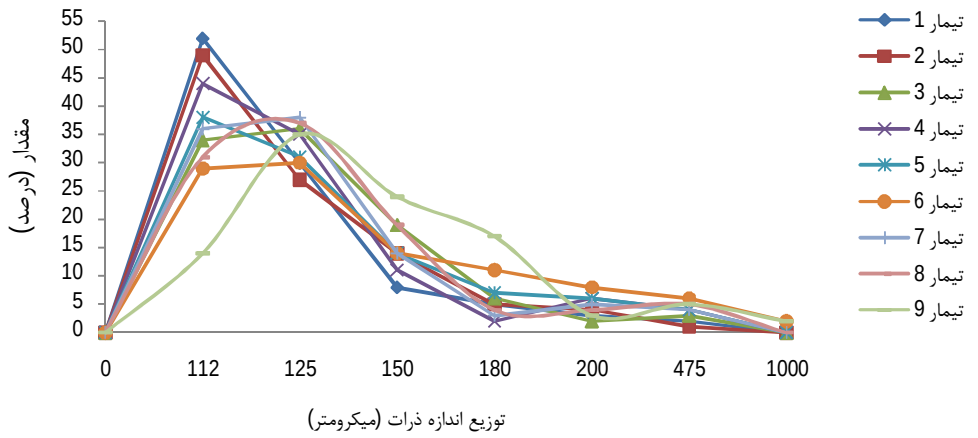
تأثیر اندازه ذرات بر جریان‌پذیری: نمونه‌های پودر برای تعیین اندازه ذرات با استفاده از الک تایلور به صورتی‌که در جدول 1 آمده کدگذاری شدند. شکل 5، چگونگی توزیع اندازه ذرات در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار توزیع اندازه ذرات و نتایج به دست آمده در جدول 4، با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین، اندازه ذرات و تخلخل افزایش یافت. این امر منجر به کاهش دانسیته توده، دانسیته توده حاصل از ضربه و همچنین افزایش جریان‌پذیری گردید. این یافته با نتایج Ganesan مطابقت دارد (12).

جدول4. تأثیر اندازه ذرات بر خواص فیزیکی و جریان‌پذیری پودر عصاره مالت

اندازه (میکرومتر)	دانسیته توده	دانسیته ضربه	تراکم‌پذیری	نسبت هاسنر	زاویه ریپوز
> 475	0/409±0/015 a	0/45±0/01a	0/09±0/006a	1/1±0/004a	19/33±0/6a
200-475	0/46±0/008b	0/5±0/0.1b	0/079±0/004a	1/086±0/004ab	25±1b
180-200	0/59±0/014c	0/64±0/015c	0/077±0/005a	1/084±0/005ab	27/33±0/6c
150-180	0/64±0/007d	0/7±0/01d	0/083±0/006a	1/09±0/007c	27/66±0/6c
125-150	0/66±0/008d	0/74±0/012e	0/107±0/007b	1/12±0/004d	30/33±0/6d
112-125	0/69±0/008e	0/78±0/011f	0/115±0/004bc	1/13±0/006de	32±1d
112 >	0/77±0/001f	0/88±0/01g	0/124±0/004c	1/142±0/007e	35±1e

حروف مشابه در در هر ستون نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار (p<0/05) در بین تیمارها می‌باشد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل5. تأثیر دمای هوای ورودی و غلظت مالتودکسترین بر توزیع اندازه ذرات پودر عصاره مالت

• بحث

مقدار رطوبت و فعالیت آبی: در رابطه با نتایج حاصل از این تحقیق، در دماهای خروجی بالا می‌توان به میزان رطوبت پایین دست یافت (13). همچنین، رطوبت هوا نیز ممکن است یک فاکتور تعیین کننده در میزان رطوبت پودر باشد. به‌طوری‌که اگر رطوبت هوای محیط بالا باشد، برای این که بتوان رطوبت پودر را در حد مورد نظر حفظ نمود، لازم است که دمای هوای خروجی افزایش یابد (14).

تأثیر مالتودکسترین نیز در کاهش مقدار رطوبت پودرهای عصاره مالت، به‌دلیل افزایش آب آزاد و در دسترس، جهت تبخیر بوده که در نهایت موجب کاهش مقدار رطوبت پودرها می‌گردد. این یافته موافق با نتیجه حاصل از خشک کردن پاششی آب هندوانه می‌باشد که در آن رطوبت پودرهای حاصل با افزایش مقدار مالتودکسترین کاهش می‌یابد (15). نتایج مشابهی دیگری نیز توسط Kha (16)، Grabowski (17) و Abadio (18) به‌دست آمد.

تأثیر شرایط تولید و نگهداری بر نسبت هاسنر: ارزیابی نسبت هاسنر جهت درک تأثیر رطوبت نسبی فرآیند بر فشردگی پودرها طی زمان حائز اهمیت می‌باشد. به این علت که این شاخص را می‌توان به‌عنوان معیاری برای سنجش انتقال حالت، از جریان‌پذیری آزاد به سمت چسبندگی پودرها به‌کار برد (11). این امر امکان پیش بینی نقاط نسبتاً پایدار عملیات و فرآوری را بر حسب اندازه ذرات و رطوبت نسبی، میسر می‌نماید. اهمیت این نسبت به دلیل این که مقادیر آن با خصوصیات جابجایی و حمل و نقل، بیشتر از حالت ساکن پودر مرتبط می‌باشد، افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در قسمت نتایج بیان شد، پیوستگی پودرهای عصاره مالت به شدت تحت تأثیر شرایط تولید قرار گرفته و افزایش دما و غلظت مالتودکسترین نقش برجسته‌ای را در کاهش پیوستگی، چسبندگی و بهبود جریان پذیری ایفاء می‌کنند. در بین پودرهای مختلف، پیوستگی پودرهای عصاره مالت تولید شده با 40% مالتودکسترین (خشک شده در دمای 160 و 180°C) به‌دلیل چسبندگی و جاذب‌الرطوبه بودن کمتر و همچنین اندازه بزرگتر ذرات، به مقدار کمتری افزایش یافت. بنابراین، جریان‌پذیری خود را به مدت بیشتری حفظ نمودند. همچنین، رطوبت پودرها و شرایط نگهداری از جمله عواملی هستند که فاکتورهای مؤثر بر جریان‌پذیری را بطور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهند. جذب رطوبت به‌دلیل خاصیت جاذب الرطوبه‌بودن پودرهای عصاره مالت از محیط اطراف بصورت تدریجی موجب کاهش جریان‌پذیری پودرها گردید. این یافته‌ها موافق با نتایج حاصل از تحقیقات Fitzpatrick (19) بود.

یکی از دلایل اصلی در رابطه با کاهش جریان‌پذیری طی نگهداری، افزایش ضخامت لایه مایع جذب شده می‌باشد که موجب افزایش قدرت اتصالات (پل‌های) مایع تشکیل شده بین ذرات می‌شود. این ویژگی در مورد پودر لاکتوز آمورف نیز موجب چسبنده و کلوخه‌ای شدن آن می‌گردد (20).

اگرچه به‌دلیل تفاوت در میزان جاذب‌الرطوبه بودن، پودرهای غذایی نسبت به رطوبت نسبی محیط از حساسیت متفاوتی برخوردار می‌باشند. به‌عنوان مثال رطوبت نسبی بحرانی برای پودر چای، آب پنیر، شیر پس چرخ و آرد، به‌ترتیب 33، 33، 44 و 66% می‌باشد که در این رطوبت، فرآیند کلوخه‌ای شدن آنها صورت می‌گیرد (21).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]

تأثیر شرایط تولید و نگهداری بر شاخص فشردگی (تراکم‌پذیری): این شاخص به نوعی بیانگر کاهش حجم اولیه پودر (دانسیته توده اولیه) پس از بسته‌بندی، جابه‌جایی و فرآیند مجدد می‌باشد. این نسبت به همراه نسبت هاسنر در تعیین قابلیت جریان‌پذیری پودرها نقش اساسی دارد. در مورد پودرهای عصاره مالت این شاخص تحت تأثیر افزایش دما و غلظت مالتودکسترین قرار می‌گیرد. که این عوامل عمدتاً بر افزایش اندازه، میانگین اندازه ذرات، ایجاد سطحی صاف، شکل کروی، ساختار متخلخل‌تر، کاهش چسبندگی و زبری سطحی موثر می‌باشند. مشابه با یافته‌های حاصل از این تحقیق، بطور مشخصی، افزایش مقدار این نسبت در برخی از پودرهای غذایی و دارویی مورد بررسی، نشان‌دهنده تراکم‌پذیری، پیوستگی و چسبندگی بیشتر ذرات است (22).

به‌عنوان مثال در تحقیق صورت گرفته بر برخی پودرهای دارویی، مقادیر دانسیته توده و دانسیته ضربه ذرات درشت و کروی هیدروکسی پروپیل متیل سلولز نسبت به آسپارتام، نزدیک‌تر به هم بوده و از این رو تراکم پذیری و میزان افت آنها در شرایط بسته‌بندی کمتر می‌باشد (23).

تأثیر شرایط تولید و نگهداری بر زاویه ساکن یا ایستای ریپوز: این شاخص به‌صورت زاویه‌ای که یک ماده بشکل یک توده ثابت بر یک سطح صاف و افقی تشکیل می‌دهد تعریف می‌شود. عقیده بر این است که جریان‌پذیری پودرها به‌طور مستقیم تابع زاویه ریپوز می‌باشد. اگرچه زاویه ریپوز یک ماده چسبنده نامشخص است و بسته به پیشینه ماده اولیه دارد (7).

شرایط مختلف تولید، تأثیرات قابل توجهی را بر جریان پذیری و زاویه ریپوز پودرها می‌گذارند. در مورد پودرهای عصاره مالت، افزایش دما و غلظت کمک خشک کن با کاهش رطوبت سطحی، کاهش چسبندگی و جاذب‌الرطوبه بودن (24)، و از سوی دیگر با افزایش اندازه، ایجاد سطحی صاف در ذرات و در نتیجه کاهش اصطکاک بین ذره‌ای، موجب کاهش زاویه ریپوز گشتند. این یافته موافق با تحقیقات Teunou (25) است که اثر اندازه، شکل، رطوبت و رابطه بین ویژگی‌های جریانی ذرات شکر در اندازه‌های مختلف، آگلومره شده، و نیز ذرات پودر شیر و ذرات شیشه در اندازه‌های مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که زاویه ریپوز با افزایش اندازه ذرات، کاهش می‌یابد که عمدتاً به‌دلیل کاهش تمایل به چسبندگی و جاذب‌الرطوبه‌بودن ذرات بزرگتر به یکدیگر می‌باشد.

دیگر عوامل مؤثر بر زاویه ریپوز پودرها و رفتار جریانی آنها بطور کلی وابسته به نیروهای دافعه فضائی بین ذرات، همچنین نیروهای اصطکاک و چسبندگی بین آنها می‌باشند (11). نیروهای اصطکاک بین ذرات نیز به‌عنوان عامل مهمی در اندازه زاویه ریپوز توده تشکیل شده به‌حساب می‌آیند. در این رابطه، جریان‌پذیری ذرات بوسیله ویژگی‌های سطحی (سطح صاف و کروی یا زبر و دارای برجستگی) و توزیع اندازه ذرات (11)، ماهیت شیمیایی و تشکیل پل‌های مایع (26)، بارهای الکتریکی (27)، پیوندهای وان‌درووالسی (28)، واکنش‌های دوقطبی-دوقطبی مغناطیسی (29)، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در ارتباط با تأثیر شرایط نگهداری بر زاویه ریپوز نیز، افزایش رطوبت با افزایش پلاستیسیته سیستم، ایجاد پل‌های مایع یا جامد پس از کریستالیزاسیون مجدد و یا خشک کردن، سبب افزایش چسبیدن پودرهای غذایی می‌شود. در نهایت، زاویه ریپوز به‌طور منظم با افزایش مقدار رطوبت پودرها، افزایش می‌یابد (25).

تأثیراندازه ذرات بر خواص فیزیکی و جریان‌پذیری پودرها: اندازه ذرات یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی است که جریان‌پذیری پودرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش دمای هوا و غلظت مالتودکسترین موجب افزایش اندازه ذرات، تخلخل بیشتر، ایجاد شکل منظم، کروی با پوسته‌ای صاف در پودرهای تولید شده گردید. علت این امر آن است که در دماهای بالاتر به‌دلیل اینکه پوسته سریعتر تشکیل شده، فرصت کافی برای چروکیده وکوچک شدن ذرات وجود ندارد، بنابراین با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن، اندازه ذرات بزرگتر، کروی و صاف بوده درحالی‌که ذرات خشک شده در دماهای پایین‌تر، کوچک‌تر بوده و ظاهر چروکیده‌تری دارند (30). از سوی دیگر افزایش دمای هوا و غلظت مالتودکسترین با کاهش جاذب‌الرطوبه بودن ذرات تولید شده، موجب کاهش جذب رطوبت طی زمان نگهداری و حفظ بیشتر خاصیت جریانی آن‌ها می‌شود (31). همچنین در تحقیق مشابه دیگری، Masters (32) بیان نمود که با افزایش غلظت مالتودکسترین میزان ویسکوزیته خوراک افزایش یافته و در نتیجه قطرات اتمایزه شده درون محفظه خشک‌کن از اندازه بزرگتری برخوردار شده که در نهایت این امر موجب ایجاد ذراتی با اندازه بزرگتر می‌گردد. این یافته با نتایج حاصل از تحقیق Jinapong (6) و Keogh (15) که به‌ترتیب فرآیند تغلیظ شیرسویا به وسیله اولترافیلتراسیون و سپس خشک کردن پاششی با اتمایزر چرخشی و خشک

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]

کردن پاششی کنستانتره شیر کامل فراپالایش شده با نازل دو سیاله را انجام دادند، مطابقت دارد.

در بررسی دیگر انجام گرفته بر اثر اندازه ذره، ترکیب، رطوبت و درجه حرارت بر پیوستگی پودرهای شیر کامل و پس‌چرخ معلوم شد که پودرهای با اندازه ذرات بیشتر از 200 میکرومتر از جریان‌پذیری آزادی برخوردار هستند (33)، در حالی‌که پودرهای ریز به‌دلیل چسبندگی و سطح تماس بالای ذرات از جریان‌پذیری پایین و ضعیفی برخوردار می‌باشند.

کوچک‌تر شدن اندازه ذرات نیز، عامل مؤثر در افزایش زاویه ریپوز، پیوستگی و به نوعی افزایش سطح تماس بین ذرات مجاور و چسبندگی می‌باشد، که البته شدت این امر به نوع و ترکیب ماده بستگی دارد (6). در نهایت، این موارد موجب کاهش جریان‌پذیری پودرها می‌گردند (34). بطور مثال در حالی‌که، گرانول‌های شکر، ایجاد یک توده مخروطی شکل و منظم می‌کنند، شکر پودر شده تشکیل یک توده بشدت نامنظم و مرتفع می‌نماید (11).

از طرف دیگر، عامل مؤثرتر در ارتفاع توده و جریان پذیری ذرات بزرگتر و درشت، همان شکل ذرات است. به گونه‌ای که ذرات کروی‌تر، از جریان‌پذیری بهتری نسبت به ذرات زبر برخوردارند. این امر به‌دلیل درگیر شدن ذرات با سطح ناصاف و زبر با یکدیگر است. بطور مثال در مطالعه‌ای در ارتباط با تأثیر اندازه و شکل ذرات بر شاخص‌های جریانی پودرهای مختلف، با اینکه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و آرد دارای اندازه ذرات مشابه و یکسانی بودند، اما آرد دارای زاویه ریپوز بالاتری نسبت به HPMC بود که این امر احتمالاً به دلیل اختلاف شکل ذرات بین دو پودر باشد (11).

• References

1. Bhandari BR, Patel KC and Chen XD. Spray drying of food materials process and product characteristics. In XD Chen and AS Mujumdar (Eds.), Drying Technology of Food Processing. 2008; 113-157. Blackwell Publishing, UK.
2. Boonyai P, Bhandari B, Howes T. Stickiness measurement techniques for food powders: A review. Powder Technol. 2004; 145: 34–46.
3. Masuda K, Higashitani K, Yoshida H. Powder Technology Handbook. 3rd edition 2006. CRC Press.
4. Dury C, Ristow G. Boundary effects on the angle of repose in rotating cylinders. The American Physical Society 1998; 57: 4491–97.
5. Bell TA. Industrial needs in solids flow for the 21st century, Powder Handling and Processing 1999; 11: 9–12.
6. Jinapong N, Suphantharika M, Jamnong P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. J Food Eng 2003; 84: 194–205.
7. Bhandari BR, Datta N, D'Arcy BR, Rintoul GB. Co-crystallization of honey with sucrose. LWT, Food Sci Tech 1998; 31: 138–42.
8. Carr R, Evaluating flow properties of solids. Chemical Eng 1965; 72:163-68.
9. Anonymous, A/S Niro Atomizer, Copenhagen, Denmark (1978). Determination of particle size distribution by sieving. In Sørensen, IH, Krag J, Pisecky J and Westergaard V (Eds.), Analytical methods for dry milk products (4th Ed. pp. 38-39). Copenhagen: Denmark.
10. Chang K, Kim D, Kim S, Jung M. Bulk flow properties of model food powder at different water activity. Int J Food Properties 1998; 1: 45–55.
11. Lumay G, Boschini F, Traina K, Bontempi S, Remy J.-C, Cloots R, Vandewalle N. Measuring the flowing properties of powders and grains. Powder Technol 2012; 224: 19–27
12. Ganesan V, Rosentrater KA, Muthukumarappan K. Flowability and handling characteristics of bulk solids and powders – a review with implications for DDGS. Biosys Eng 2008; 101: 425-35.
13. Goula AM, Konstantinos G, Adamopoulos G. Spray drying of tomato pulp in deshumidifed air: I. The effect on powder recovery. J Food Eng 2005; 66: 25–34.
14. Masters K. Spray dryers. In CGJ Baker (Ed.), Industrial drying of foods (1997; pp. 90 114). New York: Blackie Academic & Professional.
15. Keogh K, Murray C, Kelly J, O'Kennedy B. Effect of the particle six of spray-dried milk powder on some properties of chocolate. Lait 2004; 84: 375-84.
16. Kha TC, Nguyen MH, Roach PD. Effect of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (Momordica cochinchinensis) fruit aril powder. J Food Eng 2010; 98: 385–392.
17. Grabowski JA, Truong VD, Daubert CR. Nutritional and rheological characterization of spray dried sweet potato powder. LWT, Food Sci Tech 2006a; 41: 206–16.
18. Abadio FD, Domingues AM, Borges SV, Oliveira VM. Physical properties of powdered pineapple (Ananas comosus) juice – effect of malt dextrin concentration and atomization speed. J Food Eng 2004; 64: 285–87.
19. Fitzpatrick JJ, Barringer SA, Iqbal T. Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike, s hopper design methodology to the measured values. J Food Eng 2004; 61: 399–405.
20. Plinke ME, Leitch D, Loffler F. Cohesion in granular materials, Bulk Solids Handling 1994; 14,101–106.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]

21. Teunou E, Fitzpatrick JJ, Synnott EC. Characterization of food powder flowability, J Food Eng 1999; 39: 31–37.

22. Huang Q, Zhang H, Zhu J. Flow properties of fine powders in powder coating. Particuol 2010; 8: 19–27.

23. Emery E, Oliver J, Pugsley T, Sharma J, Zhou J. Flowability of moist pharmaceutical powders. Powder Technol 2009; 189: 409.

24. Rodriguez-Hernandez G.R, Gonzalez-Garcia R, Grajales-Lagunes A, Ruiz-Cabrera M.A, Abud-Archila M. Spray-drying of cactus pear juice (Opuntia streptacantha): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. Drying Technol 2005; 23: 955–973.

25. Teunou E, Vasseur J, Krawczyk M. Measurement and interpretation of bulk solids angle of repose for industrial process design. Powder Handling and Process 1995; 7: 1-9.

26. Fiscina J.E, Lumay G, Ludewig F, Vandewalle N. Compaction dynamics of wet granular assemblies. Physical Review Letters 2010; 105: 048001.

27. Mersch E, Lumay G, Boschini F, Vandewalle N. Effect of an electric field on an intermittent granular flow. Physical Review E 2010; 81: 041309.

28. Valverde J.M, Castellanos A. Random loose packing of cohesive granular materials. Europhysics Letters 2006; 75: 985-991.

29. Forsyth A.J, Hutton S.R, Rhodes M.J, Osborne C.F. Effect of applied interparticle force on the static and dynamic angles of repose of spherical granular material. Physical Review E 2001; 63: 031302.

30. Oakley DE. Produce uniform particles by spray drying. Chem Eng Prog 1997; 93: 48–54.

31. Shrestha A.K, Ua-arak T, Adhikari B.R, Howes T, Bhandari B.R. Glass transition behavior of spray-dried orange juice powder measures by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). Int J Food Properties 2007; 10: 661–673

32. Masters K. Spray drying. 5thEd. Longman Scientific Technical. London 1991. pp. 756.

33. Rennie PR, Chen XD, Hargreaves C, McKereth AR. A study of the cohesion of dairy powders. J Food Eng 1999; 39: 277-84.

34. 34. Ryck A, Condotta R, Dodds J.A. Shape of a cohesive granular heap. Powder Technol 2005; 157: 72.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]

Effect of Some Production Parameters and Storage Time on the Flowability Characteristics of Spray-dried Malt Extract Powder

*Sarabandi KH[1], Peighambardoust H[*2]*

1. M.Sc in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

*2. *Corresponding author: Associate Prof., Dept.of Food Science and Technology, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. Email: peighambardoust@tabrizu.ac.ir*

Received 10 May, 2014 **Accepted 7 Sept, 2014**

Background and Objective: Flowability is one of the most important physical characteristics of powders, and under given circumstances, affects a large number of industrial applications. Environmental conditions during the processing or transport including temperature, humidity, electrostatic charge and time can critically affect the flowability of powders. The aim of this study was to investigate the spray drying parameters such as inlet air temperature, maltodextrin concentration and storage time on the physical and flowability characteristics of spray-dried malt extract.

Materials and Methods: In this study, a pilot-scale spray dryer was employed for drying the produced products. Process variables were inlet air temperature and maltodextrin concentration (DE=18-20). Maltodextrin as drying aid was used in 20, 30 and 40% (w/w) concentrations based on the wet weight of malt extract. Inlet air temperatures of 140, 160 and 180˚C in a co-current regime with feed were used. The effect of production conditions and particle size on the flowability indices (Hausner ratio, static angle of repose and compressibility index) during storage of the samples was investigated in a closed environment (RH= 44% using a saturated solution of magnesium nitrate) (p<0.05).

Results: Flowability of the powders was drastically reduced during the storage time due to the hygroscopicity. Furthermore, the results showed that by increasing the inlet air temperature and maltodextrin concentration, the particle size was increased, while stickiness and hygroscopicity significantly (p<0.05) were reduced leading to an increase in the powders' flowability.

Conclusion: An inlet air temperature of 180˚C and a maltodextrin concentration of 40% had the most contribution on the physic-chemical characteristics and flowability of the powders during the storage time.

Keywords: Angle of repose; Compressibility index; Flowability; Hausner ratio; Malt extract powder; Spray drying

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-09]