

تولید و بهینه سازی پودر آب انجیر در خشک کن پاششی نیمه صنعتی با نازل دو سیال

محبوبه جوکار جلیانی^۱، امید رضا روستاپور^۲، لیلا ناطقی^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران
 ۲- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
 ۳- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران

چکیده

مشکلات اصلی انجیر خشک کاهش کیفیت آن به دلیل فعالیت میکروارگانیسم‌های مضر، تولید آفلاتوکسین B₁ و آفت زدگی توسط بعضی حشرات مثل پلودیا است، بنابراین انجام عملیات فرآوری مناسب بر روی این محصول ضروری است. در این تحقیق قابلیت تولید پودر کنسانتره انجیر با استفاده از خشک‌کن پاششی مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول اثر سطوح مختلف مالتودکسترین (سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد) و دی اکسید سیلیکان (دو سطح ۳ و ۵ درصد) بر عملکرد خشک‌کن در تولید پودر بررسی و سطوح بهینه مواد افزودنی تعیین شد. در مرحله دوم، اثر فاکتورهای دما (دو سطح ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد)، دبی ورودی خوراک (دو سطح ۳ و ۵ لیتر بر ساعت) و فشار نازل (دو سطح ۳ و ۵ بار) در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) بر روی عملکرد تولید و خواص فیزیکی پودر کنسانتره انجیر بررسی گردید. نتایج نشان داد که سه سطح ۴۰ درصد مالتودکسترین و ۵ درصد دی اکسید سیلیکان بالاترین تاثیر را در تولید بهینه پودر و عدم چسبندگی و کلوخه‌ای شدن پودر داشتند ($p \leq 0/05$). به علاوه مشخص گردید که کارایی دستگاه با افزایش دمای هوای ورودی، افزایش فشار نازل و کاهش دبی خوراک، مواد افزایش می‌یابد. کاهش دبی ورودی خوراک و افزایش دمای هوای ورودی و فشار نازل باعث تولید پودر با محتوای رطوبتی و اندازه قطر ذرات کم‌تر گردید ($p \leq 0/05$). همچنین مشخص گردید که دما، دبی و فشار نازل، تاثیر معناداری بر حلالیت پودرها داشتند ($p \leq 0/01$). طی ۴ هفته ماندگاری پودر نمونه منتخب (۴۰٪ مالتودکسترین و ۵٪ دی اکسید سیلیکان، دمای هوا ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، دبی ۳ لیتر در ساعت و فشار ۵ بار) مقادیر فاکتورهای رنگی L^* ، a^* و b^* به ترتیب ۱۸، ۹/۰۱ و ۹/۴۱ درصد کاهش یافت.

کلید واژگان: پودر انجیر، خشک‌کن پاششی، مالتودکسترین و دی اکسید سیلیکان

* مسئول مکاتبات: leylanateghi@yahoo.com

۱- مقدمه

انجیر با نام علمی (*Ficus carica L.*) جزء میوه‌های نیمه‌گرمسیری است که هم اکنون در پنج قاره جهان جهت مصارف داخلی یا صادرات کشت می‌شود و به شکل‌های میوه تازه، خشک و فرآوری شده مانند کمپوت، مربا، شربت، مارمالاد، شکلات و پودر مورد استفاده قرار می‌گیرد. میوه انجیر از نظر انرژی و ارزش غذایی دارای اهمیت ویژه‌ای است، این محصول دارای حدود ۷۰-۶۵ درصد قند و میزان انرژی بالایی می‌باشد (هر ۱۰۰ گرم انجیر خشک ۲۷۰ کالری دارد). همچنین این میوه دارای مقادیر زیادی پتاسیم، کلسیم، ویتامین‌های A و B می‌باشد [۱]. متأسفانه در حال حاضر به علت کاهش بارندگی و از بین رفتن منابع آبی، خشکسالی باعث از بین رفتن تدریجی باغ‌های انجیر در فارس و کاهش کیفیت محصولات آن شده است. اقتصاد عمده مناطق انجیر خیز فارس بطور مستقیم و غیرمستقیم وابسته به انجیر است. حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد میوه‌های تولیدشده به علت ریز بودن قابلیت ارائه به بازار را ندارند و لذا مناسب برای فرآوری و تبدیل به فرآورده‌های مختلف می‌باشند. انجام عملیات فرآوری مناسب بر روی این محصول به منظور کاهش درصد فساد، افزایش عمر مفید آن و تولید محصولاتی با ارزش افزوده از اهمیت زیادی برخوردار است [۲]. انجیر از جمله میوه‌هایی است که کشور ایران تولیدکننده‌ی رقم‌های بسیار مرغوب آن می‌باشد و به همین دلیل تولید کنسانتره و آب انجیر نیز مورد توجه خاص می‌باشد، ولی غالباً بازار کنسانتره‌ها و آب میوه‌ها در داخل و خارج از کشور دچار نوسان‌های زیادی می‌شود و به علت کوتاه بودن نسبی زمان ماندگاری، ضایعات زیاد و خسارات بالایی را به تولیدکنندگان آن وارد می‌سازد. به این دلیل تولید پودر آب میوه از جمله پودر انجیر موجب جلوگیری از هدر رفتن آن می‌شود و هر کارخانه تولید کنسانتره و آب میوه می‌تواند به عنوان یک محصول جانبی تولید پودر را در نظر بگیرد و از انجیرهای با

کیفیت ظاهری پایین محصولی با ارزش افزوده بالا تولید کند. یکی از مشکلات پودر آب میوه، خاصیت جذب آب و خاصیت ترموپلاستیکی ذرات پودر است که باعث ایجاد مسائلی شامل، چسبیدن ذرات به دیواره خشک‌کن در حین فرآیند خشک شدن، کلوخه شدن و مشکل بودن جابه‌جایی بدون بسته‌بندی مناسب می‌شود. برای رفع این مشکلات افزودن مواد کمک خشک‌کن برای سهولت خشک‌کردن و بهبود خواص انتقالی و ذخیره‌سازی پودر ضروری است [۳]. سامبورسکا^۱ و همکاران (۲۰۱۵)، با اضافه کردن مالتودکسترین و صمغ عربی به عنوان کمک خشک‌کن موفق به تولید پودر عسل با ۵۰ درصد ماده خشک شدند. همچنین آن‌ها دریافتند که استفاده از صمغ عربی به تنهایی به عنوان کمک خشک‌کن هرچند امکان تولید پودری را با مقدار بیشتری عسل می‌دهد (تا حدود ۶۷ درصد ماده خشک) اما ویژگی‌های فیزیکی مناسب از قبیل زمان ترشوندگی^۲، چسبندگی، روانی مناسب، رطوبت و آبدوستی را دارا نیست [۴]. عملیات خشک‌کردن محصولات کشاورزی، فرآیندی حساس و پیچیده است که اغلب، کیفیت و قیمت مواد غذایی خشک‌شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. محصولاتی که در دماهای پایین تر خشک می‌شوند، عمدتاً پایداری بیشتری در حین انبارداری دارند، اما این فرآیند، زمان طولانی‌تری را می‌طلبد. بنابراین، یافتن شرایط بهینه برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی به منظور حفظ کیفیت آن‌ها دارای اهمیت می‌باشد. در طی فرآیند خشک‌کردن، علاوه بر جلوگیری از فساد ماده غذایی بوسیله میکروارگانیسم‌ها و یا واکنش‌های شیمیایی، وزن ماده غذایی کاهش یافته و صرفه جویی بسیاری در هزینه‌های حمل و نقل و نگهداری حاصل می‌شود. انجام صحیح عملیات خشک‌کردن، به علت امکان بروز برخی تغییرات نامطلوب در ماده غذایی، اهمیت زیادی دارد [۵].

1. Samborska
2. Wettability time

۲- مواد و روشها

در این تحقیق کنسانتره انجیر وارپته سبز بومی (فارس، ایران) با رطوبت ۶۰ درصد از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس تهیه گردید. مالتودکسترین و سیلیکان دی اکسید از شرکت Cab-O-Sil، چین تهیه گردید.

۲-۱- تولید پودر کنسانتره انجیر

در این تحقیق از خشک‌کن پاششی نیمه صنعتی با نازل دو سیال (شرکت طراحان صنعت آریا، ایران) مستقر در مرکز تحقیقات کشاورزی زرقان جهت تولید پودر کنسانتره انجیر استفاده گردید. جهت تهیه محلول آزمایش، کنسانتره انجیر از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس تهیه شد و تا زمان انجام آزمایش در یخچال نگهداری گردید. خواص فیزیکی و شیمیایی کنسانتره انجیر تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است. این آزمایش در طی دو مرحله انجام شد. مرحله اول شامل دستیابی به تکنولوژی تولید پودر انجیر توسط خشک‌کن پاششی بود. در این راستا برای تولید پودر با جریان پذیری^۱ مناسب از مواد افزودنی دی اکسید سیلیکان در دو سطح ۳ و ۵ درصد و مالتودکسترین با DE برابر ۸ در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد ماده جامد استفاده گردید. مطابق با توصیه کارخانه سازنده، استفاده از دی اکسید سیلیکان به‌عنوان نگهدارنده پودرهای غذایی و کمک خشک‌کن تا ۵ درصد مجاز می‌باشد. پس از دستیابی به تکنولوژی تولید پودر مرحله دوم تحقیق به منظور ارزیابی دستگاه و دسترسی به شرایط بهینه تولید از لحاظ کمی و کیفی، آزمایش‌های تولید پودر در دو سطح دمای هوای ورودی ۱۵۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و دو سطح دبی خوراک ۳ و ۵ لیتر بر ساعت و همچنین دو سطح فشار هوای نازل ۳ و ۵ بار انجام گردید.

توین^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، اثر شرایط خشک‌کن پاششی بر روی خواص فیزیکوشیمیایی و ضد اکسندگی پودر دانه میوه گاک^۲ را بررسی نمودند. از مالتودکسترین به عنوان کمک خشک‌کن مناسب برای حفظ رنگ و خواص آنتی‌اکسیدانی استفاده گردید. نتایج نشان داد که محتوای رطوبتی و دانسیته ظاهری، ویژگی‌های رنگ، محتوای کاروتنوئید کل، بازده و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل با غلظت مالتودکسترین و درجه حرارت هوای ورودی به طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار گرفت [۶]. مالایزیا^۳ (۲۰۱۲)، در تحقیقی بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند خشک‌کردن پاششی عصاره برگ پایپر بتل^۴ پوشش داده شده با مالتودکسترین را مطالعه کرد. پارامترهای فرآیند خشک‌کردن پاششی، دمای ورودی هوای گرم، سرعت جریان پمپ و نرخ هواکش بودند. مالتودکسترین به عنوان حامل در فرآیند خشک‌کردن پاششی عمل کرده است و خواصی مانند ترکیب فعال زیستی، محتوای رطوبتی، توزیع اندازه ذرات و عملکرد پودر خشک شده مورد بررسی قرار گرفت [۷]. خشک‌کردن پاششی بر اساس تبخیر آب از قطرات اتمیزه شده^۵ کار می‌کند که این مورد با برخورد ماده پاشش شده با هوای داغ، حاصل می‌شود. در ابتدا آب سطحی قطرات تبخیر می‌شود و سپس در اثر پدیده انتشار، آب موجود در ذرات خشک می‌شود و در این راستا فشار بخار در سطح قطره کم می‌شود و نرخ خشک‌شدن کاهش می‌یابد [۸]. هدف از این مطالعه تولید و بهینه‌سازی پودر کنسانتره انجیر با کمک مالتودکسترین و دی‌اکسیدسیلیکان در خشک‌کن پاششی و همچنین تعیین شرایط بهینه خشک‌کردن شامل دمای هوای خشک‌کن، دبی ورودی خوراک و فشار نازل بر خواص پودر کنسانتره انجیر می‌باشد.

1. Tuyen
2. Gac Fruit
3. Malaysia
4. Piper betle
5. Droplet

Table 1 Physical and chemical properties of fig concentrate.

Physical properties					Chemical properties			
pH	a*	b*	L*	Energy(Kcal)	Carbohydrate (g)	Reducing sugar (g)	Protein(g)	Fat (g)
4.03±0.02	7.97±0.23	21.78±0.37	5.1±0.2	385±4	91±2.5	78±3	1.99±0.15	0.22±0.04

$$\% MC = \frac{M_w}{M_t} \times 100$$

معادله ۲

که در آن M_w جرم آب از دست رفته و M_t جرم کل اولیه نمونه است (واحدهای جرم برحسب گرم است).

۲-۴- حلالیت پودر کنسانتره انجیر

آزمون حلالیت پودر انجیر با استفاده از روش ارائه شده توسط استمان و موور^۳ (۱۹۸۴) اندازه گیری گردید. برای تهیه محلول ۱ درصد آب انجیر ابتدا مقدار ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر در داخل بشر ریخته شد. سپس مقدار مناسب ۱/۰۱ گرم از پودر خشک شده انجیر با توجه به رطوبت یک درصدی نمونه های پودر تولید شده، به آب مقطر اضافه گردید. ترکیب فوق با استفاده از هم زن با دور بالا (۱۵۰۰ rpm) به مدت ۵ دقیقه مخلوط گردید.

در ادامه به منظور جداسازی و ته نشینی ذرات جامد غیرحلال، محلول به دستگاه سانتریفوژ (مدل MSE، کانادا) با دور rpm ۳۰۰۰ منتقل گردید و به مدت ۵ دقیقه تحت نیروی سانتریفوژ قرار گرفت. در این مرحله محلول به مدت حدود ۳۰ دقیقه به حال خود رها شده تا کلیه ذرات فرصت ته نشینی پیدا کنند. سپس مقدار ۲۵ میلی لیتر از محلول شناور^۴ برداشته شد و درون پتری دیش ریخته شد. پس از توزین نمونه توسط ترازوی دقیق، ظرف پتری حاوی محلول به مدت ۵ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس اختلاف جرم نمونه ها که معادل مقدار ماده جامد حلال در ۲۵ میلی لیتر از محلول می باشد، محاسبه گردید. در نهایت توسط معادله ۳ مقدار حلالیت تعیین گردید [۹].

$$\text{Solubility \%} = \frac{(m_{sp} - m_p) \times (100/25)}{1.04} \times 100$$

معادله ۳

۲-۲- تعیین کارایی خشک کن

عملکرد تولید پودر کنسانتره انجیر توسط خشک کن پاششی بر حسب درصد به صورت کسر جرمی از میزان خوراک اولیه محاسبه گردید. در طی عملیات تولید پودر در خشک کن پاششی نیمه صنعتی درصدی از ذرات پودر بر جداره خشک کن می-چسبند. در صورتی که شرایط خشک کن از قبیل دما مناسب جهت تکمیل فرآیند خشک شدن باشد، ذرات نشست کرده بر جداره خصوصاً ناحیه مخروطی، به صورت پودر کاملاً روان و قابل بهره برداری خواهند بود.

با توجه به میزان پودر به دست آمده به ازای خوراک اولیه، عملکرد خشک کن پاششی از معادله ۱ محاسبه گردید [۹].

$$y = \frac{(W_2 - W_1) - X_{wb}(W_2 - W_1)}{M_p T_p} \times 100$$

معادله ۱

که در این معادله y معرف بازده تولید پودر (%).، X_{wb} نماینده محتوای رطوبت بر پایه تر (wb)، M_p برابر با حجم ماده تغذیه شده به دستگاه می باشد (L)، T_p مقدار کل ماده جامد محلول در ماده ورودی (gdry matter/L) و W_1 و W_2 وزن پودر قبل و بعد از فرآیند می باشد [۹].

۲-۳- محتوای رطوبتی پودر کنسانتره انجیر

محتوای رطوبتی مطابق روش بیان شده توسط ساهین-نادیم^۱ (۲۰۱۳) اندازه گیری شد. مقدار ۰/۵ گرم از هر نمونه در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و مقدار جرم کاهش یافته پودر با ترازو محاسبه گردید. درصد محتوای رطوبتی (MC^2) بر پایه مرطوب از معادله ۲ بدست می آید [۱۰].

1. Şahin-Nadeem
2. Moisture Content
3. Eastman and Moore
4. Supernatant

۲-۶- توزیع اندازه ذرات پودر کنسانتره انجیر

بررسی توزیع اندازه ذرات پودر تولیدی از فرآیند خشک کردن به منظور دستیابی به شرایط بهینه تولید پودر انجیر ضروری است. برای اندازه‌گیری اندازه ذرات، تعیین توزیع آن‌ها و همچنین بررسی ریخت‌شناسی ذرات از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ (SEM) (PHILIPS XL30 ESEM، آمریکا) استفاده گردید. بدین منظور مقداری از پودرهای تولیدی بر روی صفحات با اندازه مشخص قرارداد شده و درون میکروسکوپ الکترونیکی گذاشته شد. سپس تصویر SEM گرفته شده توسط دستگاه از نمونه پودرها مورد پردازش و تحلیل قرار گرفت [۱۱].

۲-۷- تجزیه و تحلیل آماری نتایج

این طرح تحقیقاتی در قالب آزمایش فاکتوریل شامل سه فاکتور دمای محفظه خشک‌کن (در دو سطح ۱۵۰°C و ۱۷۰°C)، دبی جریان ورودی خوراک (دو سطح ۳ و ۵ لیتر بر ساعت) و فشار هوای نازل (دو سطح ۳ و ۵ بار) با ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی^۲ انجام شد. نتایج حاصل با استفاده از روش آنالیز واریانس تجزیه و تحلیل شد و معنی‌دار بودن یا نبودن اثر متغیرها توسط نرم افزار SPSS (Version, 11.0.1 Statistical Package Program) تعیین گردید. آنالیز واریانس براساس آزمون F و مقایسه بین میانگین تیمارها با استفاده از روش آزمون توکی در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد انجام گرفت. از نرم افزار Excel جهت رسم نمودارها استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از دستیابی به تکنولوژی

تولید پودر کنسانتره انجیر

در این رابطه m_{sp} جرم پتری‌دیش و نمونه محلول در آن می‌باشد و m_p جرم پتری‌دیش خالی می‌باشد.

۲-۵- رنگ پودر کنسانتره انجیر

رنگ پودر کنسانتره انجیر به عنوان یکی از خواص فیزیکی در سیستم **CIE Lab** (Hunter Lab، انگلستان) تعیین گردید. رنگ محصولات غذایی را با سه ویژگی روشنایی L^* میزان قرمزی a^* و میزان زردی b^* بیان می‌گردد. این فاکتورها بر روی یک مختصات فضایی نشان داده می‌شود. میزان فاکتور L^* بین مقادیر صفر تا ۱۰۰ متغیر است که عدد صفر معرف تاریکی و ۱۰۰ معرف روشنایی می‌باشد. به همین ترتیب میزان قرمزی بین a^* متغیر است که مقادیر مثبت معرف قرمزی تصویر و مقادیر منفی معرف سبزی تصویر می‌باشد. مقادیر معیار زردی تصویر نیز در بازه $+b^*$ و $-b^*$ قابل تغییر است که مقادیر مثبت میزان زردی تصویر و مقادیر منفی میزان آبی بودن تصویر را بیان می‌کنند.

فاکتورهای مختلفی از قبیل دما، زمان و نحوه نگهداری بر رنگ پودر تأثیرگذار هستند. در این راستا تأثیر دمای هوای ورودی خشک‌کن و زمان نگهداری در طی چهار هفته بعد از تولید بر شاخص‌های رنگی پودر کنسانتره انجیر مورد بررسی قرار گرفت. این شاخص‌ها بیانگر کیفیت پودر و تأثیر فاکتورهای بیان شده بر تجزیه پودر می‌باشند. برای بررسی میزان تغییر رنگ در گذر زمان از برآیند تغییرات شاخص‌های رنگ، ΔE استفاده می‌شود (معادله ۴).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

معادله ۴

در این معادله، L_0^* ، a_0^* و b_0^* مقادیر شاخص‌های رنگ در ابتدای فرآیند تولید پودر می‌باشد.

1. Scanning Electron Microscope
2. Completely randomized design (CRD)

کلوخه‌ای شدن پودر کنساتره انجیر را بهبود بخشید. منابع متعددی نیز از تأثیر بالای دی اکسید سیلیکان در کاهش شدید چسبندگی ذرات به یکدیگر و به دیواره خشک کن گزارش نموده‌اند [۱۲، ۱۳ و ۱۴]. تفاوت معناداری بین حالت تنظیمی ۳ درصد DS و ۵۰ درصد MD با ۵ درصد DS و ۴۰ درصد MD مشاهده نشد. از آنجا که سطوح بالای مواد افزودنی MD و DS در محصول تولید شده از کیفیت طعم و ارزش غذایی پودر تولید شده می‌کاهد، بنابراین سطوح بهینه ۴۰ درصد MD و ۵ درصد DS به عنوان تیمار منتخب برای ادامه فرآیند خشک کردن کنساتره انجیر انتخاب گردید. شکل ۲ نمونه پودر کنساتره حاصله در شرایط کاربرد ۴۰ درصد مالتودکستروزین و ۵ درصد دی اکسید سیلیکان به عنوان مواد افزودنی را نشان می‌دهد.

فتی دشتکی و همکاران (۱۳۹۳)، برای بهینه کردن و رفع مشکل چسبندگی و کلوخه شدن پودر گوجه‌فرنگی تولید شده توسط خشک کن پاششی از ترکیب سطوح ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد مالتودکستروزین و سطوح ۳ و ۵ درصد دی اکسید سیلیکان در تهیه خوراک اولیه دستگاه استفاده نمودند. مطابق با نتایج به دست آمده سطوح ۴۰ درصد مالتودکستروزین و ۵ درصد دی اکسید سیلیکان در رفع مشکل چسبندگی ذرات پودر گوجه‌فرنگی به دیواره خشک کن و قیف دستگاه تأثیرگذار بود [۱۵].

فابرا^۲ و همکاران (۲۰۱۱)، در تحقیقی کاهش رطوبت تعادلی پودر توت هندی تولید شده توسط خشک کن پاششی و در نتیجه کاهش چسبندگی و کلوخه شدن در حضور درصدهای متفاوت مالتودکستروزین (۳۳/۶ و ۴۰ درصد) نسبت به نمونه‌های بدون افزودنی را گزارش نمودند. عملکرد دستگاه در تولید پودر توت هندی در حضور ۴۰ درصد مالتودکستروزین، بهتر از حالت‌های دیگر بود [۱۴]. سطوح پایین تر مالتودکستروزین برای تولید بهینه پودر آب لیمو (۲۰ درصد) و آناناس (۱۰ درصد) در خشک کن

با توجه به شکل ۱ با افزایش سطوح مالتودکستروزین (MD) و دی

اکسید سیلیکان (DS) نسبت $\frac{W_{non-adhesive}}{W_{adhesive}}$ روند افزایشی را دنبال کرد. در حالت کلی سطح ۵ درصد DS باعث بهبود تولید پودر و کاهش چسبندگی پودرها به دیواره خشک کن گردید. تأثیر سطح ۵ درصد DS در بهبود عملکرد دستگاه در سطوح پایین MD قابل توجه بود ($p \leq 0.01$). بالاترین نسبت جرمی، برای سطح ۵۰ درصد MD و ۵ درصد DS بدست آمد

$$\frac{W_{non-adhesive}}{W_{adhesive}} = 5/0.3$$

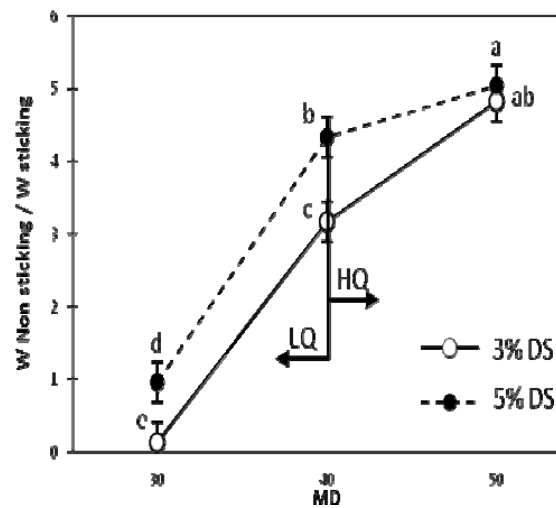


Fig 1 Results of powder produced by the dryer under the conditions of 150°C and inlet flow rate of 5 liters per hour, LQ: Production of junk powder and hunk, HQ: Production of fine powder with suitable flow

پودر تولیدی در سطح ۳۰ درصد MD در هر دو سطح DS، دارای چسبندگی بالا و حالت کلوخه‌ای نامرغوب (LQ) داشت. بنابراین تولید پودر در این شرایط مقدور نبود. افزایش درصد MD به سطح ۴۰ درصد جریان‌پذیری و کیفیت پودر را به مقدار قابل توجهی بهبود بخشید. افزایش سطوح مالتودکستروزین و دی اکسید سیلیکان به ترتیب به ۴۰ و ۵ درصد، مشکل چسبندگی و

افزایش دبی ورودی خوراک نسبت داد [۱۸]. در حالتی که دبی خوراک ورودی افزایش پیدا کند به دلیل تولید قطرات با اندازه قطر نسبی بیشتر و کاهش دمای محفظه خشک‌کن، انتقال حرارت و انتقال جرم به صورت کامل انجام نمی‌شود و ذرات با محتوای رطوبتی بالا و چسبیده تولید می‌گردد که کاهش عملکرد کلی دستگاه را بدنبال خواهد داشت [۱۹]. در سطوح یکسان دبی ورودی خوراک و دمای هوای ورودی، عملکرد بالاتری را برای فشار نازل ۵ بار در مقایسه با ۳ بار شاهد بودیم. علت را می‌توان به فرآیند پودرسازی بهتر نازل در فشار هوای بالاتر کمپرسور و در نتیجه خشک‌شدن موثرتر پودرهای با اندازه کوچکتر در مقایسه با اندازه‌های بزرگتر بیان نمود [۱۹]. افزایش عملکرد دستگاه نیز با افزایش دمای خشک‌کن با نتایج گزارش شده در تحقیقات متعددی [۱۸، ۲۰، ۲۱ و ۲۲] همخوانی داشت در حالیکه فتحی دشتکی و همکاران (۱۳۹۳)، کاهش عملکرد خشک‌کن، با افزایش دمای ورودی را گزارش نمودند [۱۵]. نتایج مشابهی از تاثیر کاهشی افزایش دما در عملکرد نهایی خشک‌کن در تولید پودر آب پرتقال توسط چگینی^۲ و قبادیان^۳ (۲۰۰۷) و پودر شیره کاکتوس توسط لئون مارتینز^۴ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش شده است [۲۳ و ۲۴]. علت احتمالی می‌تواند به دلیل ذوب شدن و چسبیدن پودر به دیواره مخزن در دمای بالاتر و در نتیجه کاهش پودر خروجی و به دنبال آن کاهش عملکرد دستگاه بیان نمود. با کاهش دمای خشک‌کن به طوریکه فرآیند خشک شدن تکمیل نگردد، افزایش نشست و چسبندگی ذرات بر جداره محفظه خشک‌کن و کاهش عملکرد را به دنبال خواهد داشت. همچنین افزایش بیش از حد دمای خشک‌کن و گذشتن آن از دمای انتقال شیشه‌ای انجیر باعث چسبیدن ذرات بر جداره محفظه و کاهش عملکرد می‌گردد [۱۹].

پاششی توسط روستاپور و همکاران (۲۰۰۶) و آبادی^۱ و همکاران (۲۰۰۴)، گزارش شده است که با سطح بهینه مالتودکسترین در این تحقیق هم‌خوانی نداشت. تفاوت در خواص فیزیکیوشیمیایی و ترکیبات خوراک تهیه شده از جمله میزان قند و فیبر، می‌تواند علت اصلی این تفاوت باشد [۱۶ و ۱۷].



Fig 2 Powder samples produced in the presence of 40% MD and 5% DS in 150°C inlet air temperature

۲-۳- نتایج عملکرد خشک‌کن پاششی در تولید

پودر کنسانتره انجیر

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر روی عملکرد می‌توان دریافت که با افزایش دبی خوراک و کاهش دمای هوای ورودی، عملکرد دستگاه در تولید پودر کاهش می‌یابد (جدول ۲). لذا بالاترین مقدار میانگین عملکرد تولید پودر در سطح دمایی ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، فشار نازل ۵ بار و دبی ورودی ۳ لیتر بر ساعت حاصل گردید (۱۶۷۸٪) و کمترین مقدار متناظر برای سطح دمایی ۱۵۰، فشار نازل ۳ و دبی ورودی ۵ لیتر بر ساعت (۶۹۴٪) حاصل شد. مطابق با نتایج تحقیق افزایش دبی ورودی خوراک باعث کاهش عملکرد خشک‌کن گردید. تأثیر افزایش دبی ورودی خوراک بر کاهش عملکرد خشک‌کن را می‌توان به کاهش انتقال جرم و حرارت مواد با

2. Chegini
3. Ghobadian
4. León-Martínez

1. Abadio

Table 2 The dryer performance percentage as a function of different levels of Temperature, Pressure and Flow rate

Treatments			Mean
Temperature (°C)	Pressure (bar)	Flow rate (l/h)	
170	5	3	16.78±1.061 ^A
170	3	3	14.31±1.061 ^{AB}
170	5	5	9.58±1.061 ^{BC}
170	3	5	8.82±1.061 ^C
150	5	3	8.48±1.061 ^C
150	3	3	7.45±1.061 ^C
150	5	5	7.09±1.061 ^C
150	3	5	6.94±1.061 ^C

Different letters indicate significant differences at the 5% level ($p \geq 0.05$)

تبخیر و مهاجرت رطوبت از درون قطره (به دلیل اختلاف فشار بخار) در دمای ثابت و فشار بخار نسبی در سطح قطره، رخ می دهد. زمانی که رطوبت درون ذره به مقدار بحرانی خود رسید، یک پوسته خشک در سطح قطره ایجاد می گردد. از طرفی در این مرحله تبخیر انجام شده و ابسته به نرخ انتشار رطوبت در لایه خشک سطحی ذره می باشد. خشک شدن زمانی که دمای مرکز ذره برابر با دمای حباب مرطوب (نزدیک به دمای هوای خروجی خشک کن) شود تمام می شود. بنابراین انتقال حرارت و جرم ایجاد شده به اندازه قطر ذره و دمای هوای ورودی بستگی دارد [۱۹]. لذا با توجه به مطالب ذکر شده و نتایج بدست آمده مشاهده شد که با تولید قطرات با اندازه قطر نسبی کوچک (فشار بالاتر نازل) و نرخ پاشش کمتر قطرات (دبی کمتر خوراک) به درون محفظه خشک کن فرصت کافی در اختیار قطرات پودر شده قرار گیرد که به تعادل دمایی با هوای محفظه خشک کن برسد. با افزایش دمای محفظه خشک کن انتقال جرم از درون قطره به محیط بیرون افزایش می یابد در نتیجه کاهش سریع محتوای رطوبتی ذره در سطوح پایین رطوبتی را شاهدیم [۱۹].

نتایج مشابهی از تاثیر افزایش دما بر کاهش محتوای رطوبتی گزارش شده است. چگینی و قبادیان (۲۰۰۵)، کاهش رطوبت پودر پرتقال تولید شده در دماهای بالاتر محفظه خشک کن را گزارش نمودند [۲۶]. در مطالعه ای دیگر که توسط سوزا^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، بر روی آب گوجه فرنگی انجام شد، افزایش دما و کاهش دبی خوراک باعث کاهش محتوای رطوبتی محصول شد که با نتایج حاصل از این پژوهش هم خوانی دارد [۲۷].

۳-۳- نتایج محتوای رطوبت نهایی پودر کنسانتره

انجیر

تغییرات ساختار فیزیکی و شیمیایی پودرهای تولیدی در زمان انبارداری تابع میزان رطوبت پودر تولیدی می باشد. برای افزایش زمان ماندگاری و پذیرش پودر توسط مصرف کننده رطوبت کمتر از ۴-۵ درصد مطلوب می باشد [۲۵]. نتایج حاصل از مقایسه میانگین های محتوای رطوبتی پودرها در جدول ۳ ارائه شده است. در حالت کلی افزایش دما، کاهش دبی خوراک و افزایش فشار نازل منجر به تولید پودر کنسانتره انجیر با محتوای رطوبتی کمتر گردید. بالاترین مقدار میانگین رطوبت برابر ۴/۰۲ درصد بر مبنای خشک برای تیمار دمای ۱۵۰ درجه سانتی گراد، فشار نازل ۳ بار و دبی ورودی خوراک ۵ لیتر بر ساعت بدست آمد. در مقابل کمترین مقدار میانگین رطوبت پودر برابر ۳/۳۱ درصد برای تیمار دمای ۱۷۰، فشار نازل ۵ بار و دبی خوراک ۳ لیتر بر ساعت بدست آمد. کاهش دبی ورودی خوراک و افزایش دمای هوای خشک کن، تأثیر معناداری در کاهش محتوای رطوبت پودر تولیدی در سطوح ثابت فشار نازل داشتند ($p \leq 0.05$). در سطوح یکسان دمایی و دبی خوراک، تفاوت معناداری در تأثیر فشار نازل بر کاهش محتوای رطوبتی مشاهده نشد (جدول ۳). از این موارد می توان نتیجه گرفت که تغییر اندازه ذرات ناشی از فشار ۵ بار و ۳ بار نازل، تأثیر معنی داری در میزان تبخیر انجام گرفته ندارد.

هنگام پاشش قطرات، انتقال حرارت از نوع همرفتی بین هوای گرم درون محفظه و قطره پاشش شده انجام می گردد و محتوای رطوبتی قطره به صورت تدریجی کاسته می شود. بنابراین پدیده

Table 3 The moisture percentage of powder produced as a function of different levels of Temperature, Pressure and Flow rate

Treatments			Mean
Temperature (°C)	Pressure (bar)	Flow rate (l/h)	
150	3	5	4.02±0.020 ^A
150	5	5	3.97±0.015 ^A
150	3	3	3.78±0.011 ^B
150	5	3	3.72±0.014 ^{BC}
170	3	5	3.59±0.022 ^C
170	5	5	3.52±0.010 ^D
170	3	3	3.40±0.015 ^E
170	5	3	3.31±0.017 ^F

Different letters indicate significant differences at the 5% level ($p \geq 0.05$)

کاهش بر فاکتور حلالیت پودرها داشت. بالاترین مقدار میانگین حلالیت برابر ۸۹/۶۰ درصد برای تیمار دمای ۱۷۰، فشار نازل ۳ بار و دبی ورودی خوراک ۳ لیتر بر ساعت بدست آمد. در مقابل کمترین مقدار میانگین حلالیت پودر برابر ۸۴/۴۰ درصد برای تیمار دمای ۱۵۰، فشار نازل ۵ بار و دبی ۵ لیتر بر ساعت بدست آمد. علت این امر می تواند بالاتر بودن رطوبت نهایی محصول تولید شده با دمای هوای ۱۵۰ درجه سانتی گراد باشد که باعث کلوخه شدن و به هم پیوستن ذرات شده و حلالیت را پایین آورد.

۳-۵- نتایج تغییرات فاکتورهای رنگی پودر

کنسانتره انجیر

پودرهای تولید شده در حالت تنظیمی دمای ۱۷۰ درجه سانتی-گراد خشک کن، از جهت کیفیت بهتر محصول و بالاتر بودن بازده عملکردی دستگاه (نسبت به دمای ۱۵۰ درجه سانتی-گراد)، به عنوان نمونه منتخب آزمایشی انتخاب شدند و تأثیر زمان ماندگاری پودر بر تغییرات فاکتورهای رنگی L^* ، a^* و b^* آنها بررسی گردید.

نتایج حاصل از تغییرات فاکتورهای L^* ، a^* و b^* در طول چهار هفته ماندگاری به ترتیب در شکل های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است.

۳-۴- نتایج میزان حلالیت پودر کنسانتره انجیر

حلالیت یک ویژگی فیزیکی است که توانایی یک ماده در حل شدن در یک حلال را بیان می کند و به خواص فیزیکوشیمیایی مواد مورد نظر وابسته می باشد. در روش تولید پودر توسط خشک کن پاششی نوع خواص فیزیکی و شیمیایی و مقادیر مواد افزودنی به محلول و فاکتورهای تنظیمی دستگاه بر فاکتور حلالیت پودر تولیدی تأثیرگذار می باشند [۱۹]. نتایج حاصل از مقایسه میانگین های حلالیت پودرها در جدول ۴ بیان گردیده است. در حالت کلی افزایش دمای هوای گرم ورودی به محفظه خشک کن، تأثیر افزایشی بر حلالیت پودرهای تولید شده داشت که این نتیجه ممکن است به دلیل تخلخل بیشتر ذرات به دلیل سرعت بالاتر فرایند خشک شدن باشد. این نتایج با نتیجه تحقیقات فضلی^۱ و همکاران (۲۰۱۲)، بر روی تولید پودر توت سیاه هم خوانی داشت [۲۲]. درحالی که نتایج حاصل از تأثیر دمای هوای ورودی بر حلالیت در تولید پودر آب هندوانه توسط کواک^۲ و همکاران (۲۰۰۷)، و پودر آب پرتقال توسط چگینی و قبادیان (۲۰۰۵)، با نتایج این تحقیق مغایرت داشت [۲۶ و ۲۸]. در مقابل افزایش فشار نازل و افزایش دبی ورودی خوراک تأثیر

1. Fazaeli
2. Quek

Table 4 The solubility percentage of powder produced as a function of different levels of Temperature, Pressure and Flow rate

Treatments			Mean
Temperature (°C)	Pressure (bar)	Flow rate (l/h)	
170	3	3	89.60±0.764 ^A
170	5	3	87.66±0.764 ^{AB}
170	3	5	87.40±0.764 ^{AB}
150	3	3	87.10±0.764 ^{AB}
170	5	5	86.40±0.764 ^{AB}
150	5	3	85.20±0.764 ^B
150	5	5	84.40±0.764 ^B
150	3	5	84.25±0.764 ^B

Different letters indicate significant differences at the 5% level ($p \geq 0.05$)

بیشترین کاهش در مقدار فاکتور a^* (۱۲/۴۳ درصد) برای پودرهای تولید شده در شرایط دبی ورودی خوراک ۳ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۳ بار مشاهده گردید. به همین ترتیب، کمترین مقدار تغییر در مقادیر فاکتور a^* (۹/۰۱ درصد) برای پودرهای تولید شده در شرایط دبی ورودی خوراک ۵ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۳ بار مشاهده گردید (شکل ۴).

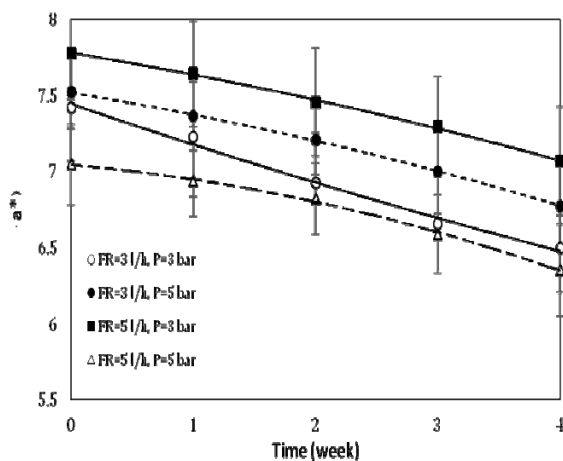


Fig 4 Change of powder red factor (a^*) (production with 170°C inlet air temperature) during 4 weeks storage time. FR: Feed flow rate rate

بیشترین کاهش در مقدار فاکتور b^* (۹/۴۱ درصد) برای پودرهای تولید شده در شرایط دبی ورودی خوراک ۳ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۳ بار مشاهده گردید. همچنین، کمترین مقدار تغییر در مقادیر فاکتور b^* (۲/۶۵ درصد) برای پودرهای تولید شده در شرایط دبی ورودی خوراک ۵ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۳ بار مشاهده گردید (شکل ۵).

مقدار میانگین اولیه فاکتورهای L^* ، a^* و b^* به ترتیب برابر ۷۰/۵۹، ۷/۴۴ و ۲۷/۰۴ اندازه گیری شد. با گذشت زمان مقادیر فاکتورهای L^* ، a^* و b^* یک سیر نزولی را دنبال نمودند به طوری که بیشترین کاهش در مقدار فاکتور L^* (۱۸ درصد) برای پودرهای تولید شده در شرایط دبی ورودی خوراک ۳ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۳ بار مشاهده گردید. به همین ترتیب، کمترین مقدار تغییر در مقادیر فاکتور L^* (۳ درصد) برای پودرهای تولید شده در شرایط دبی ورودی خوراک ۵ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۵ بار مشاهده گردید (شکل ۳). کاهش میزان روشنایی رنگ پودرها طی فرآیند و نگهداری می تواند به دلیل واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی یا میلارد در حضور قندهای قندهای احیاء کننده باشد. علاوه بر این به هم پیوستن ذرات کوچک تر پودر و تبدیل بخش‌های بی‌شکل ذرات به کریستال می تواند در تغییر رنگ پودر در زمان نگهداری مؤثر باشد [۲۹].

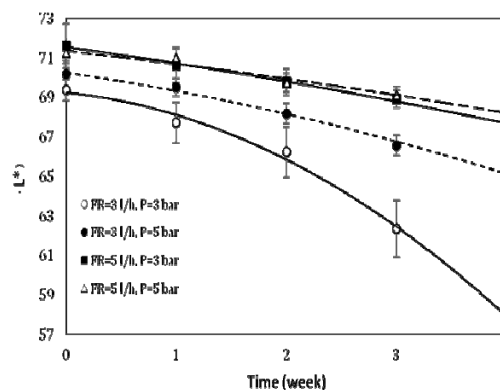


Fig 3 Change of powder brightness (L^*) factor (production with 170°C inlet air temperature) during 4 weeks storage time. FR: Feed flow rate rate

مقایسه میانگین مقادیر تغییر رنگ (ΔE) برای تیمارهای مختلف دبی ورودی خوراک و فشار نازل در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۷ نشان داده شده است. بالاترین مقدار تغییر رنگ برای تیمار دبی ورودی ۳ لیتر بر ساعت و فشار ۳ بار ($\Delta E=11/79$) و کمترین مقدار برای دبی ورودی خوراک ۵ لیتر بر ساعت و فشار ۳ بار ($\Delta E=3/21$) تعیین شد. مقدار تغییر رنگ در حالت دبی ۳ لیتر بر ساعت و فشار ۳ بار تفاوت معناداری با تیمارهای دیگر داشت ($p \leq 0/01$). علت تغییر رنگ بیشتر نمونه‌های با دبی ۳ لیتر در ساعت نسبت به نمونه‌های با دبی ۵ لیتر در ساعت می‌تواند رطوبت پایین‌تر نمونه‌های ۳ لیتر در ساعت باشد که در طی زمان ماندگاری، با کریستالیزه شدن بخش‌های بی‌شکل و بهم پیوستن ذرات باشد.

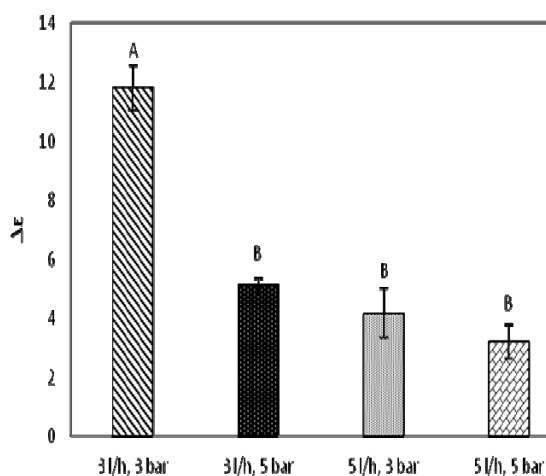


Fig 7 Compare the total color change (ΔE) of powder produced (with 170°C inlet air temperature) in terms of Flow rate and nozzle pressure after one month storage time compared with the fresh powder

۳-۶- نتایج توزیع اندازه قطر ذرات پودر

کنسانتره انجیر

اندازه قطر ذرات پودر تولید شده شاخصی برای تعیین بازده مکانیزم‌های پاشش، خشک‌شدن و جداسازی ذرات پودر توسط سیکلون می‌باشد [۱۵]. تاثیر فاکتورهای دما، دبی خوراک مواد و فشار نازل بر مقادیر قطر معادل ذرات در جدول ۵ بیان شده است. بزرگترین میانگین اندازه ذرات (۱۷/۱۴ میکرومتر) در دمای

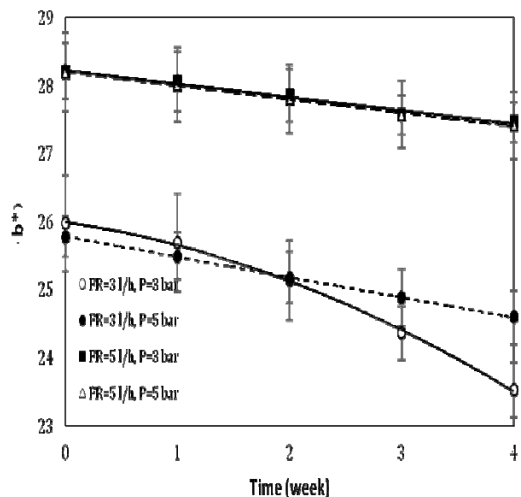


Fig 5 Change of powder yellowing factor (b^*) (production with 170°C inlet air temperature) during 4 weeks storage time. FR: Feed flow rate rate a^* , L^* . نتایج حاصل از مقایسه میانگین نرخ کاهش فاکتورهای a^* و b^* در شکل ۶ نشان داده شده است. نرخ کاهشی بالاتری برای پودرهای تولیدی در دبی ورودی ۳ لیتر بر ساعت نسبت به دبی ورودی خوراک ۵ لیتر بر ساعت مشاهده شد. بالاترین مقدار نرخ کاهش مقادیر فاکتورهای a^* و b^* برای پودرهای تولید شده در دبی ۳ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۳ بار مشاهده گردید ($p \leq 0/50$). کمترین مقدار نیز برای پودرهای تولیدی در دبی ورودی خوراک ۵ لیتر بر ساعت و فشار ۳ بار مشاهده گردید. تفاوت معناداری در مقادیر نرخ کاهش فاکتور a^* مشاهده نشد ($p > 0/50$).

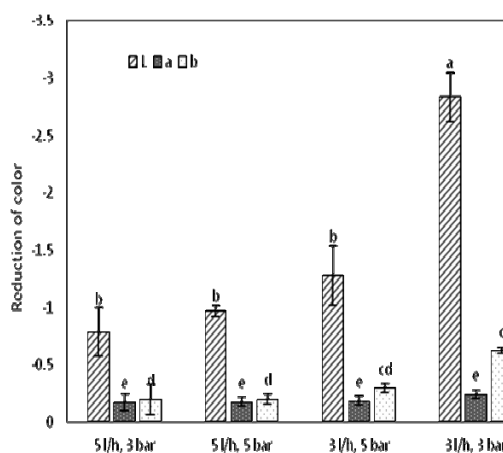
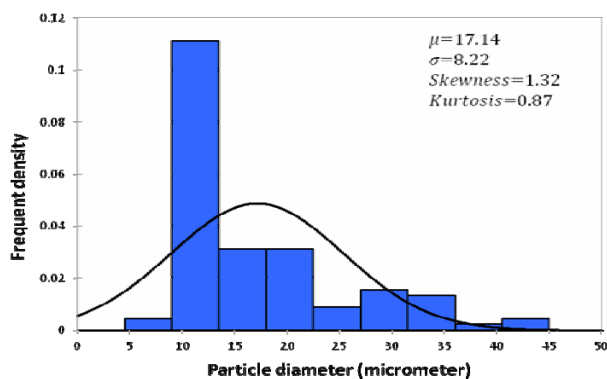


Fig 6 Flow rate factors effect of input materials and nozzle pressure on the rate reduction of colored factor of powder produced at 170°C

Table 5 Mean, standard deviation, largest and smallest particle size of powder produced (All particle size according to micrometer)

Treatments			Mean
Temperature (°C)	Pressure (bar)	Flow rate (l/h)	
150	3	3	16.59±1.14 ^A
150	5	3	11.17±0.59 ^C
150	3	5	17.14±1.22 ^A
150	5	5	13.76±1.02 ^B
170	3	3	8.89±0.51 ^{DE}
170	5	3	7.54±0.38 ^F
170	3	5	9.37±0.61 ^D
170	5	5	8.70±0.20 ^E

توزیع پراکندگی اندازه ذرات برای تیمار ۱۵۰ درجه سانتی گراد، دبی ۵ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۳ بار که بزرگترین میانگین اندازه ذرات را داشت در شکل ۸ نشان داده شده است. مقدار کشیدگی^۳ و چولگی^۴ فراوانی اندازه ذرات به ترتیب برابر ۰/۸۷ و ۱/۳۲ بدست آمد. نتایج نشان داد که ۶۵ درصد اندازه ذرات در محدوده ۱۰ الی ۲۰ میکرومتر محاسبه گردید.

**Fig 8** Dispersion distribution of powder particle size produced at 150° C temperature, 5 liters per hour inlet flow rate and 3 bar nozzle pressure

توزیع پراکندگی اندازه ذرات برای تیمار ۱۷۰ درجه سانتی گراد، دبی ۳ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۵ بار که کمترین میانگین اندازه

۱۵۰ درجه سانتی گراد، دبی ۵ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۳ بار و کمترین اندازه (۷/۵۴ میکرومتر) در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد، دبی ۳ لیتر بر ساعت و فشار نازل ۵ بار محاسبه شد. با افزایش دمای خشک کن میانگین اندازه ذرات کاهش یافت. با افزایش دبی خوراک شاهد افزایش نسبی میانگین اندازه ذرات پودر تولیدی بودیم. همچنین با افزایش فشار نازل از ۳ به ۵ بار، کاهش اندازه نسبی قطر ذرات پودر را در پی داشت.

فتحی دشتکی و همکاران (۱۳۹۳)، افزایش اندازه قطر ذرات پودر گوجه فرنگی را با افزایش دمای هوای ورودی خشک کن گزارش کردند [۱۵]. نتایج مشابهی از تاثیر افزایش دما بر افزایش اندازه قطر ذرات پودر شیره کاکتوس توسط لئون مارتینز و همکاران (۲۰۱۰)، پودر آب پرتقال توسط چگینی و قبادیان (۲۰۰۷)، پودر شیر توسط بیرچال^۱ و همکاران (۲۰۰۵) و پودر تخم مرغ توسط والتون^۲ (۲۰۰۰) گزارش گردیده است که با نتایج این پژوهش همخوانی نداشت [۲۳، ۲۴، ۳۰ و ۳۱]. آن‌ها علت افزایش اندازه قطر ذرات پودر در دماهای بالاتر خشک شدن را به دلیل خشک شدن سریع سطح رویه قطرات که باعث ایجاد یک لایه سخت بر روی سطح بیرونی قطره می‌گردد که پس از آن، این لایه سخت اجازه خروج رطوبت از داخل قطره به بیرون را نمی‌دهد و در نتیجه موجب تورم و افزایش حجم ذرات پودر خواهیم بود.

ضریب نفوذ حرارتی کنسانتره انجیر به دلیل محتوای بالای ساکاروز آن پایین بوده و موجب انجام فرآیند انتقال حرارت و انتقال جرم با سرعت کمتر و در زمان بیشتر می‌گردد که منجر به انتقال جرم کامل تر از درون قطره به بیرون می‌گردد. مایعات با محتوای بالای ساکاروز دارای مقادیر کمتر ضریب نفوذ حرارتی نسبت به مایعات با محتوای کمتر ساکاروز می‌باشند [۳۲].

بنابراین انتظار می‌رود که قطرات پاشیده شده کنسانتره انجیر به درون محفظه خشک کن به دلیل ماهیت قندی خود و دارا بودن ضریب نفوذ حرارتی پایین تر نسبت به مواد با محتوای قندی پایین، فرآیند خشک شدن با سرعت کمتر اما کامل تر انجام پذیرد.

3. Kurtosis
4. Skewness

1. Birchall
2. Walton

مطابق شکل ۱۱ ذرات دارای کرویت بالایی می‌باشند که باعث می‌گردد جریان‌پذیری و حلالیت پودر بهبود یابد [۳۳].

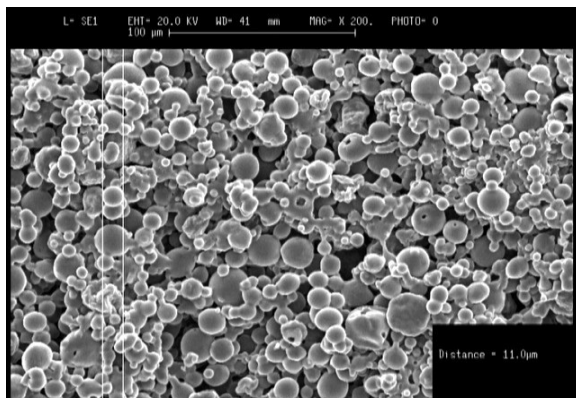


Fig 10 Powder particle size distribution produced at 170° C temperature, 3 liters per hour inlet flow rate and 5 bar nozzle pressure

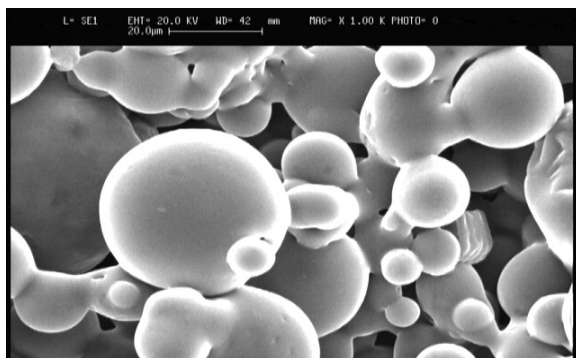


Fig 11 Powder particle size distribution produced at 170°C temperature

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از مرحله اول این تحقیق که مربوط به بررسی سطوح بهینه موادافزودنی جهت تولید پودر کنسانتره انجیر بود نشان داد که سطوح ۴۰ درصد مالتودکسترین و ۵ درصد دی-اکسیدسیلیکان مناسب‌ترین سطوح جهت رفع مشکل چسبندگی و تولید پودر کنسانتره انجیر توسط خشک‌کن پاششی می‌باشد. در مرحله دوم نیز که اثر فاکتورهای دما، دبی ورودی خوراک و فشار نازل بر روی عملکرد تولید و خواص فیزیکی پودر کنسانتره انجیر بررسی گردید مشاهده شد که با افزایش دمای هوای ورودی و فشار نازل و کاهش دبی خوراک منجر به افزایش عملکرد دستگاه در تولید پودر و تولید پودر با محتوای رطوبتی پایین‌تر می‌شود در حالیکه میزان حلالیت پودر کنسانتره انجیر با

ذرات را داشت در شکل ۹ نشان داده شده است. مقدار کشیدگی و چولگی فراوانی اندازه ذرات به ترتیب برابر ۱/۱۳ و ۱/۹۷ بدست آمد. نتایج نشان داد که ۶۷ درصد اندازه ذرات در محدوده ۲ الی ۱۰ میکرومتر بود. با مقایسه مقادیر کشیدگی و چولگی برای دو تیمار نتیجه گرفته شد که اندازه ذرات در تیمار دوم دارای پراکندگی کمتر (پودر یک‌دست‌تر) و دارای اندازه نسبی تقریباً یکسان در مقایسه با تیمار اول می‌باشد (شکل‌های ۸ و ۹).

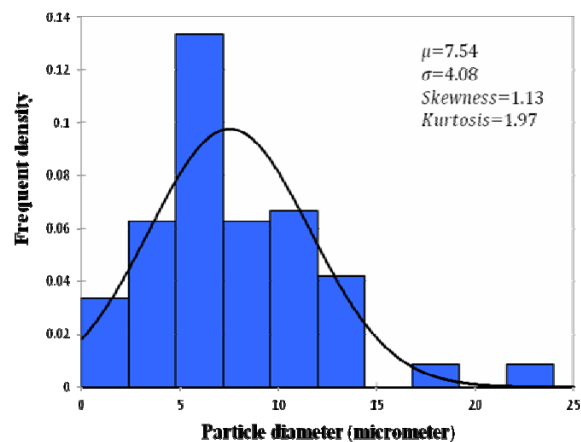


Fig 9 Dispersion distribution of powder particle size produced at 170° C temperature, 3 liters per hour inlet flow rate and 5 bar nozzle pressure

۳-۷- ریخت‌شناسی ذرات پودر کنسانتره انجیر

برای دستیابی به شرایط بهینه کاری خشک‌کن لازم است آنالیز دقیقی از محصول تولیدی انجام شود. یکی از خصوصیات پودرها، مرفولوژی ذرات یا خصوصیات ظاهری و فیزیکی ساختمان ذرات تشکیل دهنده پودر می‌باشد که در پیش بینی خصوصیات پودر تولیدی خیلی موثر است [۳۱].

در یک شرایط کاری معین خشک‌کن، ذرات پودر ممکن است کروی، شیاردار، توخالی و ترک‌دار باشند، که این به تخلخل یا عدم تخلخل پوسته یا شیار ذرات برمی‌گردد. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات پودر تولید شده در دمای هوای ورودی ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد را می‌دهد. مطابق تصاویر ذرات پودر تولیدی در دمای هوای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد ضریب گردی بالا و اندازه قطر در محدود ۵ تا ۱۰ میکرومتر تعیین شد.

- [10] Şahin-Nadeem, H., Dinçer, C., Torun, M., Topuz, A., and Özdemir, F. (2013). Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *LWT-Food Science and Technology*, 52(1): 31-38.
- [11] Roustapour, O., Azad, N.M., and Sarshar, M. (2012). Determination of pomegranate juice powder properties produced by a pilot plant spray dryer with a two-fluid nozzle. *Drying Technology*, 30(16): 1906-1917.
- [12] Cano-Higueta, D.M., Villa-Vélez, H.A., Telis-Romero, J., Váquiro, H. A., and Telis, V. R. N. (2015). Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders: A thermodynamic approach. *Food and Bioproducts Processing*, 93(19): 19-28.
- [13] Du, J., Ge, Z.Z., Xu, Z., Zou, B., Zhang, Y., and Li, C.M. (2014). Comparison of the efficiency of five different drying carriers on the spray drying of persimmon pulp powders. *Drying Technology*, 32(10): 1157-1166.
- [14] Fabra, M. J., Márquez, E., Castro, D., and Chiralt, A. (2011). Effect of maltodextrins in the water-content-water activity-glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 103(1): 47-51.
- [15] Fathi dashtaki, A., Roustapour, A.R., Khadem, M.R. (2014). Design, construction and evaluation of pilot spray dryer with a two-fluid nozzle to produce tomato powder. Islamic azad university. Eghlid branch, 210 (In Farsi).
- [16] Roustapour, O., Hosseinalipour, M., and Ghobadian, B. (2006). An experimental investigation of lime juice drying in a pilot plant spray dryer. *Drying technology*, 24(2): 181-188.
- [17] Abadio, F., Domingues, A., Borges, S., and Oliveira, V. (2004). Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64(3): 285-287.
- [18] Tonon, R. V., Brabet, C., and Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai کاهش دمای هوای ورودی، افزایش فشار نازل و دبی خوراک کاهش می‌یابد.
- ### ۵- منابع
- [1] Azarakhsh, H. (1993). Study on different methods of fig harvesting and processing. Ministry of agriculture, Fars jehad e agricultural organization (In Farsi).
- [2] Maftoun Azad, N. (2014). Concentrate optimization of grade 3 dry fig of Estahban area. Twenty-second national congress of food science and technology, Tabriz University (In Farsi).
- [3] Southwell, D., Langrish, T., and Fletcher, D. (2001). Use of computational fluid dynamics techniques to assess design alternatives for the plenum chamber of a small spray dryer. *Drying Technology*, 19(2): 257-268.
- [4] Samborska, K., Gajek, P., and Kamińska-Dwórznicza, A. (2015). Spray drying of honey: the effect of drying agents on powder properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65(2): 109-118.
- [5] Feng, H., and Tang, J. (1998). Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *Journal of Food Science*, 63(4): 679-683.
- [6] Tuyen, C.K., Nguyen, M.H., and Roach, P.D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98(3): 385-392.
- [7] Malaysia, P. (2012). Optimization of spray drying process parameters of piper betle L.(Sirih) leaves extract coated with maltodextrin. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 4(3): 1833-1841.
- [8] Shi, M., and Wang, X. (2004). Investigation on moisture transfer mechanism in porous media during rapid drying process. *Drying technology*, 22(1-2): 111-122.
- [9] Eastman, J.E., and Moore, C.O. (1984). Cold-water-soluble granular starch for gelled food compositions. Google Patents.

- [27] Souza, A. S., Borges, S.V., Magalhães, N.F., Ricardo, H. V., Cereda, M. P., and Daiuto, E. R. (2009). Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. *Food Science and Technology (Campinas)*, 29(2): 291-294.
- [28] 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(5): 386-392.
- [29] Kim, S., Lee, K.W., Park, J., Lee, H. J., and Hwang, I. K. (2006). Effect of drying in antioxidant activity and changes of ascorbic acid and colour by different drying and storage in Korean red pepper (*Capsicum annuum*, L.). *International journal of food science & technology*, 41(1): 90-95.
- [30] Birchal, V. S., Passos, M. L., Wildhagen, G. R., and Mujumdar, A. S. (2005). Effect of spray-dryer operating variables on the whole milk powder quality. *Drying Technology*, 23(3): 611-636.
- [31] Walton, D. (2000). The morphology of spray-dried particles a qualitative view. *Drying Technology*, 18(9): 1943-1986.
- [32] Nguyen, L. T., Balasubramaniam, V., and Sastry, S. (2012). Determination of in-situ thermal conductivity, thermal diffusivity, volumetric specific heat and isobaric specific heat of selected foods under pressure. *International Journal of Food Properties*, 15(1): 169-187.
- [33] Fakher Dizaji, M., HamidiSepahr, A., Chegini, G., Khazaei, J., and Mansuri, A. (2015). Influence of hot bed spray dryer parameters on physical properties of peppermint (*mentha piperita* l.) tea powder. *International Journal of Food Engineering*, 11(1): 115-125.
- (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3): 411-418.
- [19] Barbosa, J., and Teixeira, P. (2017). Development of probiotic fruit juice powders by spray drying: a review. *Food Reviews International*, 33(4): 335-358.
- [20] Cai, Y., and Corke, H. (2000). Production and properties of spray - dried amaranthus betacyanin pigments. *Journal of food science*, 65(7): 1248-1252.
- [21] Chranioti, C., Chanioti, S., and Tzia, C. (2016). Comparison of spray, freeze and oven drying as a means of reducing bitter aftertaste of steviol glycosides (derived from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant)–Evaluation of the final products. *Food chemistry*, 190: 1151-1158.
- [22] Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., and Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*, 90(4): 667-675.
- [23] Chegini, G., and Ghobadian, B. (2007). Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(2): 230-236.
- [24] León-Martínez, F., Mendez-Lagunas, L.L., and Rodríguez-Ramírez, J. (2010). Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus-indica*): Effects on powder properties and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 81(4): 864-870.
- [25] Koc, B., Yilmazer, M. S., Balkır, P., and Ertekin, F. K. (2010). Spray drying of yogurt: Optimization of process conditions for improving viability and other quality attributes. *Drying Technology*, 28(4): 495-507.
- [26] Chegini, G., and Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23(3): 657-668.

Producing and optimizing fig juice powder in a semi-industrial spray dryer with two fluid nozzles

Jokar jalyani, M. ¹, Roustapour, O. R. ², Nateghi, L. ^{3*}

1. MSC Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran
2. Department of agricultural engineering research, Agricultural engineering research Center, Fars Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
3. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran

The main problems of dried figs are the decrease of its quality due to activity of the harmful microorganism, the production aflatoxin B1 and pest by some insects, such as Plodia, so proper processing operations on this product are necessary. In this research, the ability to produce fig concentrate powder using spray dryer was investigated. The experiment was carried out in two steps. In the first stage, the effect of different levels of maltodextrin (three levels of 30, 40 and 50%) and silicon dioxide (two levels of 3 and 5%) on performance of dryer in powder production and optimal levels of additives was determined. In the second step, the effect of factors, temperature (two levels of 150 and 170 °C), inlet feed flow rate (two levels of 3 and 5 liters per hour) and nozzle pressure (two levels of 3 and 5 bar) in a completely randomized design (CRD) on production performance and physical properties of fig concentrate powder were studied. The results showed that levels of 40% maltodextrin and 5% silicon dioxide had the highest effect on optimum powder production and lack of stickiness and lump ($P \geq 0.50$). In addition, it was found that the machine's performance increases with increasing inlet air temperature, increasing nozzle pressure and reducing feed flow rate. Decrease of flow rate of feed inlet and increase of the inlet air temperature and the nozzle pressure resulted in the production of a powder with lower moisture content and smaller diameter particle size ($P \geq 0.50$). It was also found that temperature, flow rate and nozzle pressure had a significant effect on powder solubility ($P \geq 0.01$). During 4 weeks of shelf life of selected powder sample (40% maltodextrin and 5% silicon dioxide, air temperature 170 °C, flow rate 3 liters per hour and pressure 5 bar) the values of color factors L^* , a^* and b^* decreased 18, 9.1 and 9.41%, respectively.

Keywords: Fig powder, Spray dryer, Maltodextrin, Silicon dioxide

* Corresponding Author E-Mail Address: leylanateghi@yahoo.com