

## ارزیابی خواص فیزیکی پودر عصاره اسطوخودوس (*Lavandula stricta* Del.) در خشک کن پاشی

حسین مشکوة<sup>۱</sup>، فاروق شریفیان<sup>۲\*</sup>، عادل حسین پور<sup>۳</sup> و علی محمد نیکبخت<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

پست الکترونیک: f.sharifian@urmia.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۴- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش: فروردین ۱۳۹۹

تاریخ اصلاح نهایی: اسفند ۱۳۹۸

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۸

### چکیده

طی سالیان اخیر پژوهش در زمینه گیاهان دارویی به عنوان مکمل درمانی افزایش چشمگیری یافته است. عصاره (*Lavandula stricta* Del.) با توجه به داشتن خواص ویژه درمانی، کاربرد گسترده‌ای در بین فرآورده‌های گیاهان دارویی دارد. نظر به اهمیت کیفیت فیزیکی پودر عصاره تولید شده از گیاهان دارویی در صنعت غذا و دارو، در این پژوهش عملکرد دستگاه خشک کن پاششی در تولید پودر از عصاره اسطوخودوس در سه سطح دمای ورودی ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ درجه سلسیوس، سه سطح نرخ جریان هوای ورودی ۶، ۸ و ۱۰ لیتر بر دقیقه و نسبت‌های ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد به کمک خشک کن مالتودکسترین نسبت به جرم ماده خشک عصاره به روش سطح پاسخ مطالعه شد و خواص فیزیکی پودر تولید شده بررسی گردید. محتوای رطوبت، فعالیت آبی، چگالی توده‌ای، چگالی ذرات و تخلخل نمونه‌های پودر به ترتیب در محدوده‌های ۸/۷۰-۵/۱۰٪، ۰/۳۰-۰/۲۶٪، ۰/۶۰-۰/۴۵ گرم بر میلی‌لیتر، ۲/۵۰-۰/۹۹ گرم بر میلی‌لیتر و ۸۷-۴۷٪ متغیر بود. حداکثر عملکرد خشک کن در تولید پودر اسطوخودوس در دمای ورودی ۲۱۰ درجه سلسیوس و نرخ جریان هوای ۸ لیتر بر دقیقه و نسبت جرمی ۵۰٪ به کمک خشک کن برابر با ۸۹٪ تعیین گردید. با در نظر گرفتن تمامی فاکتورهای فیزیکی مورد ارزیابی، نقطه بهینه در فرآوری عصاره اسطوخودوس، دمای هوای ورودی ۱۷۷/۲۹ درجه سلسیوس و نرخ پاشش ۱۰ لیتر بر دقیقه و نسبت مالتودکسترین به جرم ماده خشک عصاره ۶۷٪ بود که در این حالت محتوای رطوبت ۶/۶٪، فعالیت آبی ۰/۲۸، چگالی توده‌ای ۰/۵۸ گرم بر میلی‌لیتر، چگالی ذرات ۱/۴۶ گرم بر میلی‌لیتر و تخلخل پودر ۶۰/۹۵٪ حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: پودر اسطوخودوس، فعالیت آبی، چگالی توده، عملکرد خشک کن، مالتودکسترین، بهینه‌سازی.

## مقدمه

گیاهان دارویی از مهمترین منابع مواد اولیه مورد استفاده در صنعت غذا و دارو می‌باشند (Bakkali, et al., 2008). با توجه به رشد روزافزون و تمایل به مصرف داروهایی با مبدأ گیاهی و تنوع فراوان گیاهان دارویی در مناطق اقلیمی مختلف کشور، امروزه این بخش از منابع طبیعی ایران از نظر اقتصادی و درمانی اهمیت فراوانی پیدا کرده است که ضرورت تحقیق در زمینه فرآوری گیاهان دارویی را دوچندان نموده است. اسطوخودوس با نام علمی *Lavandula stricta* Del. جزء گیاهان دارویی اسانس‌دار، چندساله و از خانواده Lamiaceae و بومی ایران می‌باشد (Sangin Abadi et al., 2016). ارتفاع گیاه اسطوخودوس بین ۴۵ تا ۲۰۰ سانتی‌متر است و گل‌ها در انتهای خوشه‌ها و در رأس ساقه مجتمع می‌باشند. با توجه به شرایط محیطی و آب و هوایی منطقه کشت، دوران گلدهی اواخر بهار تا شهریورماه گزارش شده است. گل‌های آن رنگ آبی متمایل به بنفش و بسیار معطر است. اسانس و عصاره در برگ‌ها و گل‌های اسطوخودوس و در کرک‌های ترش‌خی مخصوص ساخته و ذخیره می‌شود. عصاره اسطوخودوس در درمان سوختگی و تسکین نیش حشرات، آسم، رماتیسم، نقرس و آرتروز نقش دارد و در طب سنتی به‌عنوان آرام‌بخش و کمک‌کننده در هاضمه بکار می‌رود.

از جمله مزایای پودرهای تولیدی در فرایند خشک‌کن پاششی می‌توان به کاهش حجم و یا وزن محصول، سهولت در بسته‌بندی، جابجایی آسان‌تر، افزایش زمان ماندگاری به دلیل پایداری فیزیکی بالا و همچنین سهولت استفاده به‌عنوان جزء افزودنی اشاره کرد (Goula & Adamopoulos, 2010؛ Shrestha, et al., 2007). خشک کردن پاششی یکی از مؤثرترین روش‌های مورد استفاده برای خشک کردن مایعات مغذی است. محصول نهایی می‌تواند ذرات پودر با جریان آزاد، متراکم یا دانه‌ای باشد. انتقال، نگهداری و استفاده از ذرات جامد تولیدی در صنایع مختلف شیمیایی، غذایی و به‌ویژه در صنعت داروسازی که نزدیک به ۸۰٪ محصولات به شکل ذرات جامد و پودری شکل می‌باشند حائز اهمیت است؛ از این‌رو شناسایی

ویژگی‌های فیزیکی با هدف کنترل بهتر فرایندهای تولید و ممانعت از مشکلاتی مانند کلوخه شدن، توده‌ای شدن و چسبندگی امری ضروریست (Boonyai et al., 2004). رفتار کلی سیستم‌های گرانولی و پودری به‌طور کلی به ماهیت اصلی ذرات جامد که شامل اندازه، شکل، تخلخل، یکپارچگی ذرات، رطوبت، فعالیت آبی، یکنواختی و قابلیت تفکیک آن بستگی دارد. با توجه به کمبود اطلاعات و تحقیقات انجام شده در رابطه با عوامل مؤثر بر ویژگی‌های فیزیکی پودرهای تولید شده با استفاده از خشک‌کن پاششی، مطالعه بررسی تأثیر شاخص‌های فرایند خشک کردن پاششی بر خواص فیزیکی پودر گیاهان دارویی، مورد نیاز صنعت غذا و دارو می‌باشد.

قبل از استفاده از خشک‌کن پاششی، یک ماده تحت عنوان کمک خشک‌کن به خوراک اضافه می‌شود و در شکل یک پوسته از اجزای فعال محافظت می‌کند. این کمک خشک‌کن‌ها بازیافت پودر و کیفیت نهایی پودر را بهبود می‌بخشند (Telis & Sobral, 2002). کاربرد مقادیر زیاد کمک خشک‌کن، موجب بالا رفتن هزینه‌ها می‌شود و میزان ماده مؤثره پودر تولید شده را کاهش می‌دهد، بنابراین بهینه کردن مقدار مصرف کمک خشک‌کن در فرایند خشک کردن پاششی، قدمی مهم می‌باشد. از کمک خشک‌کن‌های متداول در فرایند خشک‌کن پاششی می‌توان به کاربرد کربوهیدرات‌ها، صمغ‌ها، مشتقات سلولز و پلیمرهای مصنوعی اشاره کرد (Chiu et al., 2007؛ Kha et al., 2010). هر یک از این مواد با توجه به خواص، هزینه و بازده دارای مزایا و معایبی هستند.

برای تغلیظ عصاره، کاهش چسبندگی پودر حاصل به دیواره خشک‌کن و بهبود بازده فرایند و جلوگیری از کلوخه شدن پودر در طول ذخیره‌سازی، افزودن کمک خشک‌کن الزامیست (Langrish & Fletcher, 2001). در این پژوهش از مالتودکسترین به‌عنوان کمک خشک‌کن استفاده شده است. مالتودکسترین با فرمول شیمیایی  $C_6nH(10n+2)O(5n+1)$  یک ترکیب از مشتقات اصلاح شده نشاسته است. از جمله ویژگی‌های کاربردی آن افزایش حجم، تشکیل فیلم، محافظت در برابر اکسیژن، براق‌کنندگی سطحی، کمک به پخش‌شوندگی

مخروطی شکل و ابعاد  $۷۰ \times ۵۳ \times ۹۵$  (طول  $\times$  عرض  $\times$  ارتفاع) بود که در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه ارومیه مستقر می‌باشد. این خشک‌کن پاششی مجهز به یک پمپ پریستالیک با میزان جریان متغیر برای ارسال خوراک مایع به داخل محفظه خشک‌کن است. فرایند پاشش مایع توسط یک نازل دو جریانی تحت تأثیر هوای فشرده کمپرسور انجام شد. هوای گرم ورودی پس از عبور از یک گرم‌کن الکتریکی همسو با جریان خوراک، وارد محفظه خشک‌کن می‌شود. در نهایت پودر تولید شده در یک ظرف شیشه‌ای که به سیکلون متصل بود، جمع‌آوری گردید. عملکرد دستگاه خشک‌کن پاششی در تولید پودر از عصاره اسطوخودوس در سه سطح دمای ورودی ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ درجه سلسیوس، سه سطح نرخ جریان هوای ورودی ۶، ۸ و ۱۰ لیتر بر دقیقه و نسبت‌های ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد کمک خشک‌کن مالتودکستری نسبت به جرم ماده خشک عصاره به روش سطح پاسخ مطالعه شد و خواص فیزیکی پودر تولید شده بررسی گردید.

#### آماده‌سازی گیاه و تهیه عصاره

اندام‌های هوایی گیاه اسطوخودوس (*Lavandula stricta* Del.) پس از تهیه گیاه از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی شهرستان ارومیه و حذف قسمت‌های اضافی و زائد گیاه اعم از ریشه و ساقه‌های پژمرده از آن جدا شد و در نهایت برای خشک کردن به آزمایشگاه انتقال یافت. پس از تهیه گیاه، خشک کردن آن در شرایط سایه و به‌صورت لایه نازک انجام شد. برای تهیه عصاره از روش خیس کردن استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا ۲ کیلوگرم بیکره رویشی گیاه تهیه و با استفاده از حلال‌های اتانول: آب به نسبت ۵۰:۵۰ و نسبت گیاه به حلال ۱:۱۰ در دمای اتاق عصاره‌گیری شد. در این مدت مخلوط حاصل به‌طور متناوب به‌هم زده شد. در نهایت بعد از گذشت ۴۸ ساعت، عصاره از گیاه خارج گردید. پس از تهیه عصاره، مخلوط عصاره و حلال صاف شد. عصاره بدست‌آمده، برای حذف اتانول با استفاده از پمپ خلأ در دمای کمتر از ۴۰ درجه سلسیوس تغلیظ شد. برای تغلیظ عصاره، کاهش

و انحلال‌پذیری و کنترل انجماد در محصول می‌باشد (Sadeghi et al., 2008; Pierucci et al., 2007). پژوهش‌های گوناگونی با استفاده از خشک‌کن پاششی انجام شده است. در همین راستا Hosseinzadeh و همکاران (۲۰۱۶) میزان کمک خشک‌کن مورد نیاز را در فرایند خشک کردن پاششی روغن نعناع بررسی کرده و نتایج آنان نشان داده است که با افزایش میزان غلظت کمک خشک‌کن، اندازه ذرات یکنواخت‌تر و پایداری در برابر رونشینی پودر حاصل بیشتر شده است. همچنین Shahidi و همکاران (۲۰۱۴) شرایط بهینه برای تولید پودر آب انار را مطالعه نموده و به این نتیجه رسیدند که دمای ورودی ۱۷۰ درجه سلسیوس و نرخ جریان ۰/۵۵ لیتر بر ثانیه و نسبت آب میوه به مالتودکستری ۰/۶ بهترین تیمار برای خشک کردن آب انار است. تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر روی خواص عصاره گیاه بادرشبو توسط Rahmati و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه شده است. آنان گزارش کرده‌اند که شرایط بهینه از نظر حفظ ترکیب‌های شیمیایی، روش خشک کردن پاششی می‌باشد. استفاده روزافزون از مشتقات گیاهان دارویی، نیاز به مطالعه تولید پودر از عصاره این گیاهان را آشکار می‌کند و بهینه‌سازی فرایند خشک کردن برای تولید پودری با ویژگی‌های فیزیکی مطلوب، مطابق نیاز صنعت غذا و دارو ضروریست. بنابراین هدف از این پژوهش، با توجه به اهمیت عصاره اسطوخودوس و مزایای تهیه پودر از عصاره آن در خشک‌کن پاششی، اثر متغیرهای دمای هوای ورودی، نرخ جریان هوای فشرده و غلظت کمک خشک‌کن مالتودکستری بر ویژگی‌های فیزیکی پودر حاصل شامل محتوای رطوبتی، فعالیت آبی، چگالی توده‌ای، چگالی ذرات و عملکرد خشک‌کن می‌باشد و در پایان سطوح بهینه متغیرهای مستقل به‌همراه متغیرهای وابسته برای خشک کردن محصول تعیین خواهد شد.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس آزمایشگاهی ساخت شرکت دانش‌بنیان درساز به‌ساز استفاده گردید. محفظه خشک‌کن به‌صورت استوانه‌ای با قسمت پایینی

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{فعالیت آبی} = \frac{\text{فشار بخار آب در ماده غذایی}}{\text{فشار بخار اشباع آب}} \times 100$$

### چگالی توده‌ای

برای اندازه‌گیری چگالی توده‌ای از روش Nadeem و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد. بدین منظور ۲ گرم پودر را در یک استوانه مدرج ۱۰ میلی‌لیتر با درجه‌بندی ۰/۱ میلی‌لیتر ریخته و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، چگالی توده‌ای به صورت گرم بر میلی‌لیتر و از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۳} \quad \text{چگالی توده‌ای} = \frac{\text{وزن پودر}}{\text{حجم پودر}}$$

### چگالی ذرات

برای اندازه‌گیری چگالی ذرات نمونه‌ها از استاندارد A/S Niro Atomizer 1978c استفاده شد. بدین منظور یک گرم پودر در یک استوانه ۱۰ میلی‌لیتر ریخته شد. در مرحله بعد ۵ میلی‌لیتر اتر نفت به آن اضافه گردید. سپس یک میلی‌لیتر اتر دیگر به آن اضافه شد تا پودرهایی که به دیواره چسبیده بودند، ته‌نشین شوند. چگالی ذرات از تقسیم وزن پودر بر حجم افزایش یافته اتر بدست می‌آید، در نهایت چگالی ذرات به صورت گرم بر میلی‌لیتر و از طریق رابطه ۴ محاسبه شد (Okuyama & Kousaka, 1991).

$$\text{رابطه ۴} \quad \text{چگالی ذرات} = \frac{\text{وزن پودر}}{\text{حجم کل اتر} - 6}$$

### تخلخل

تخلخل از مهمترین خصوصیات میکروکپسول‌ها به‌شمار می‌رود؛ زیرا مواد انکپسوله شده، بسیار مستعد اکسیداسیون هستند. هر اندازه تخلخل کمتر باشد، پودر فضای کمتری را

چسبندگی پودر به دیواره خشک‌کن، بهبود بازده خشک کردن در خشک‌کن پاششی و جلوگیری از کلوخه شدن پودر در طول ذخیره‌سازی، کمک خشک‌کن مالتودکستریین اضافه گردید. هوای ورودی توسط هیتر گرم و همسو با خوراک وارد محفظه خشک‌کن شده و خشک کردن ذرات آغاز می‌شود. بعد از چند ثانیه ذرات خشک شده و پودر تولید شده در ظرف شیشه‌ای متصل به سیکلون جمع‌آوری شده و بعد از سرد شدن در لوله فالدکون و در یخچال نگهداری شد. در این پژوهش از روش سطح پاسخ و استفاده از طرح باکس بنکن با پنج تکرار در نقطه مرکزی استفاده شد. طبق این روش ۱۷ نمونه براساس روش مذکور برای انجام آزمایش‌های مربوط به خواص فیزیکی تهیه و نگهداری گردید.

### محتوای رطوبتی

برای اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌ها از استاندارد AOAC استفاده شد (Fazaeli et al., 2012). بدین منظور یک گرم پودر از هر یک از نمونه‌ها با سه تکرار در یک پلیت شیشه‌ای ریخته شد. سپس پلیت حاوی پودرها در داخل آون خلأ در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و رطوبت نمونه‌ها بر پایه تر طبق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{محتوای رطوبت} = \frac{\text{جرم آب}}{\text{جرم نمونه مرطوب}} \times 100$$

### فعالیت آبی

محتوای بالای فعالیت آبی نشان‌دهنده آب آزاد بیشتر برای واکنش‌های شیمیایی و در نتیجه عمر مفید کمتر است. بیشتر باکتری‌ها در فعالیت آب کمتر از ۰/۹ امکان فعالیت ندارند. برای اندازه‌گیری فعالیت آبی از دستگاه AQUA LAB واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه ارومیه استفاده شد. این دستگاه با اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی، فعالیت آبی را محاسبه می‌کند (Leung, 1986). بدین‌منظور از هر نمونه مقداری از پودر تولیدی در ظرف مخصوص دستگاه قرار گرفته و فعالیت آبی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس طبق رابطه ۲ اندازه‌گیری شد.

پاسخ شامل چهار مرحله اصلی: تعیین تعداد متغیرهای مستقل و وابسته، تشکیل جدول طرح آزمایشی، مشخص کردن مدل آماری مناسب برای تجزیه واریانس داده‌ها و بهینه‌سازی فرایند می‌باشد. این پژوهش با سه متغیر مستقل در سه سطح دمای ورودی ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ درجه سلسیوس، سه سطح نرخ جریان هوای ورودی ۶، ۸ و ۱۰ لیتر بر دقیقه و نسبت‌های ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد کمک خشک‌کن مالتودکسترین نسبت به جرم ماده خشک عصاره بررسی شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت (Design-Expert® Software Version 10) مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت دقت مدل آماری و معنی‌داری ضرایب رگرسیونی با استفاده از آنالیز واریانس انجام شد. پس از آنالیز واریانس درجه اهمیت هر یک از متغیرهای وابسته مشخص و بر مبنای آن بهینه‌سازی فرایند انجام گردید.

## نتایج

### محتوای رطوبتی

محتوای رطوبت نمونه‌های پودر در محدوده ۸/۷-۵/۱٪ متغیر بود. نتایج نشان داد که اثرهای ساده متغیرها تأثیر معنی‌داری بر محتوای رطوبت در سطح احتمال ۱٪ گذاشته‌اند. به طوری که با افزایش دمای هوای ورودی گرادیان دمایی بین ذرات متمیزه افزایش می‌یابد، بنابراین حرارت بیشتری به ذرات وارد و میزان تبخیر بالا می‌رود و محتوای رطوبتی کمتر می‌شود. افزایش میزان جریان هوا سبب کاهش اندازه ذرات و افزایش مساحت سطح آنها در واحد حجم می‌شود، بنابراین میزان خشک کردن افزایش و محتوای رطوبت در محصول نهایی کاهش می‌یابد. افزایش غلظت مواد کمک خشک‌کن سبب افزایش ماده جامد در خوراک و کاهش رطوبت کل برای تبخیر می‌شود و رطوبت نهایی پودر کاهش می‌یابد (شکل‌های ۱-الف، ۱-ب و ۱-ج).

اشغال کرده و واکنش‌های اکسیداسیون رنگدانه‌ای کمتر می‌شوند. تخلخل بالا نشانگر وجود فضاهای خالی زیاد بین ذرات است، بنابراین مقدار اکسیژن در دسترس برای انجام واکنش‌های شیمیایی بیشتر خواهد بود. تخلخل پودرهای خشک شده با کنترل جذب آب نقش مهمی در حلالیت دارند. تخلخل بالا نشانگر باقی ماندن فضای بیشتر بین ذرات است، بنابراین در طول انبارداری، پودر با تخلخل بالا با تخریب روبرو خواهد شد؛ در حالیکه پودر با تخلخل کمتر، احتمال تخریب کمتری در طول ذخیره‌سازی دارد. تخلخل نمونه‌های پودر با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد (Tonon *et al.*, 2010).

$$\text{رابطه ۵} \quad \text{چگالی توده‌ای} \\ \text{چگالی ذرات} = 1 - \text{تخلخل}$$

### عملکرد خشک‌کن پاشی

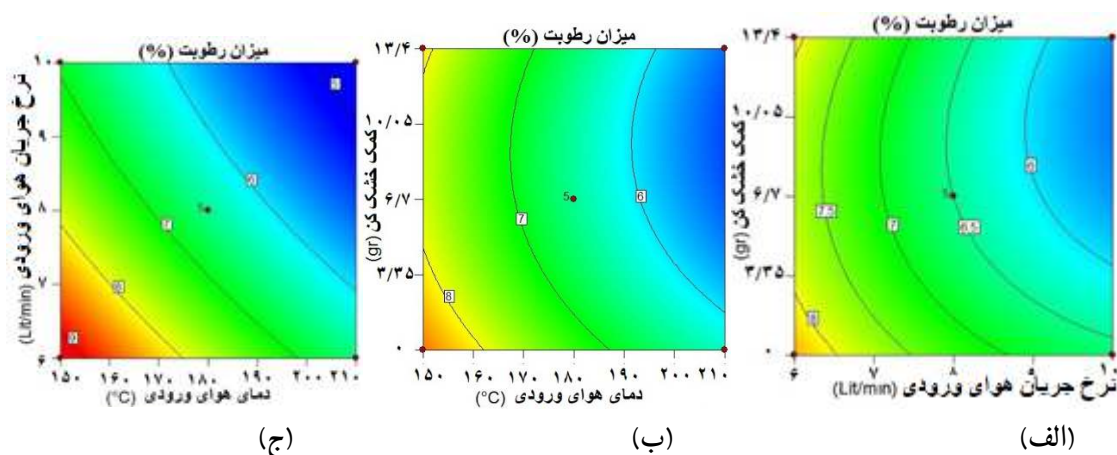
عملکرد خشک‌کن یکی از اصلی‌ترین شاخص‌ها و بیانگر میزان اقتصادی بودن، کارایی و درصد موفقیت‌آمیز بودن فرایند است. عملکرد خشک‌کن به کمک رابطه ۶ محاسبه شد (Tan *et al.*, 2015).

### رابطه ۶

$$\text{عملکرد خشک‌کن} = \frac{\text{وزن پودر}}{\text{وزن ماده جامد موجود در خوراک}}$$

### بهینه‌سازی فرایند

در این پژوهش از روش سطح پاسخ و استفاده از طرح باکس بنکن با پنج تکرار در نقطه مرکزی استفاده شد. مزیت اصلی روش سطح پاسخ، کاهش تعداد آزمایش‌های لازم برای ارزیابی پارامترهای متعدد و برهم‌کنش بین آنهاست. مراحل تحلیل در روش سطح

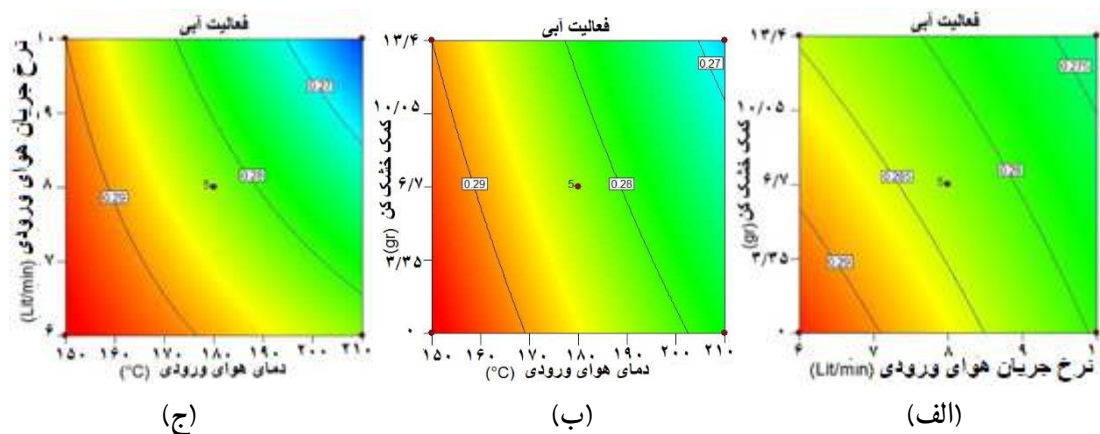


شکل ۱- بررسی اثرهای متغیرهای مستقل بر محتوای رطوبتی پودر عصاره اسطوخودوس

(شکل ۲). افزایش مقدار کمک خشک‌کن‌ها سبب کاهش فعالیت آبی شد (شکل ۲- الف). افزایش میزان دمای هوای ورودی باعث کاهش فعالیت آبی شد (شکل ۲- ب). همچنین افزایش نرخ جریان هوای فشرده، سبب کاهش فعالیت آبی شد (شکل ۲- ج).

فعالیت آبی نمونه‌ها

فعالیت آبی نمونه‌های خشک شده در محدوده ۰/۳۰۲ تا ۰/۲۶۱ متغیر بود. بنابراین نمونه‌های پودر در سطح قابل قبولی برای نگهداری می‌باشند. البته نتایج تحلیل فعالیت آبی تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای مختلف نشان نداده است



شکل ۲- بررسی اثرهای متغیرهای مستقل بر فعالیت آبی پودر عصاره اسطوخودوس

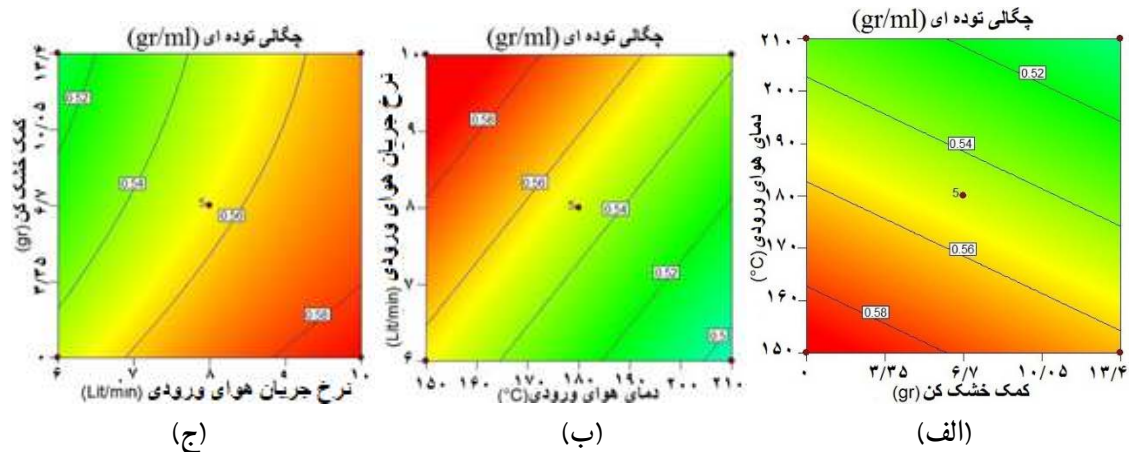
داشته‌اند. در این تحقیق بیشترین چگالی توده‌ای در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس حاصل گردید. به طوری که با افزایش دمای هوای ورودی میزان تبخیر بیشتر می‌شود، بنابراین محصول خشک شده دارای یک ساختار متخلخل، چروکیده و با اندازه ذرات بزرگتر خواهد بود و چگالی توده‌ای کاهش

چگالی توده‌ای پودر

چگالی توده‌ای نمونه‌های پودر اسطوخودوس، بین ۰/۴۵۳۲۷۱ تا ۰/۶۰۱۲۷۵ گرم بر میلی‌لیتر متغیر بود. نتایج نشان داد که اثرهای ساده تمامی متغیرهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر چگالی توده‌ای پودر اسطوخودوس در سطح ۱٪

که با افزایش میزان جریان هوای فشرده اندازه ذرات پودر کاهش می‌یابد، بنابراین ذرات کوچک‌تر، چگال‌تر و چگالی توده‌ای بیشتر می‌شود (شکل‌های ۳-الف، ۳-ب و ۳-ج).

می‌یابد. با افزایش میزان کمک خشک‌کن محتوای رطوبت محصول کاهش و میزان هوای محبوس داخل ذرات افزایش می‌یابد، در نتیجه با توجه به اختلاف چگالی هوا با پودر، ذرات سبک‌تر شده و چگالی توده‌ای کمتر می‌شود. به‌نحوی

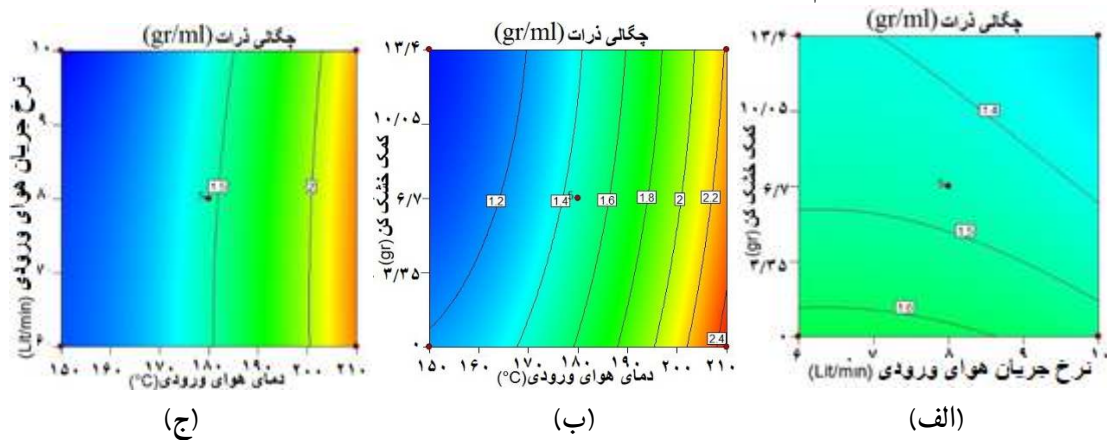


شکل ۳- بررسی اثرهای متغیرهای مستقل بر چگالی توده‌ای پودر عصاره اسطوخودوس

مشخصی اثر نفت است، بنابراین چگالی ذرات افزایش می‌یابد. با افزایش نرخ جریان هوای فشرده، اندازه ذرات کاهش می‌یابد. ذرات کوچک‌تر مقدار تخلخل کمتری دارند و به‌ازای مقدار مشخصی اثر نفت افزایش حجم بیشتری می‌دهند؛ در نتیجه چگالی ذرات کاهش می‌یابد. البته افزایش مقدار کمک خشک‌کن تأثیر معنی‌داری بر چگالی ذرات نمونه‌های پودر در سطح احتمال ۱٪ نداشت (شکل‌های ۴-الف و ۴-ب و ۴-ج).

### چگالی ذرات

چگالی ذرات نمونه‌های پودر اسطوخودوس بین ۰/۹۸۷ تا ۲/۵ گرم بر میلی‌لیتر متغیر بود. نتایج نشان داد که اثرهای ساده متغیرهای دمای هوای ورودی و نرخ جریان هوای فشرده تأثیر معنی‌داری بر چگالی ذرات نمونه‌های پودر در سطح ۱٪ داشته‌اند. به‌طوری که با افزایش دما، اندازه ذرات بزرگ‌تر و تخلخل بیشتر می‌شود، تخلخل بیشتر به معنای افزایش حجم کمتر به ازای مقدار



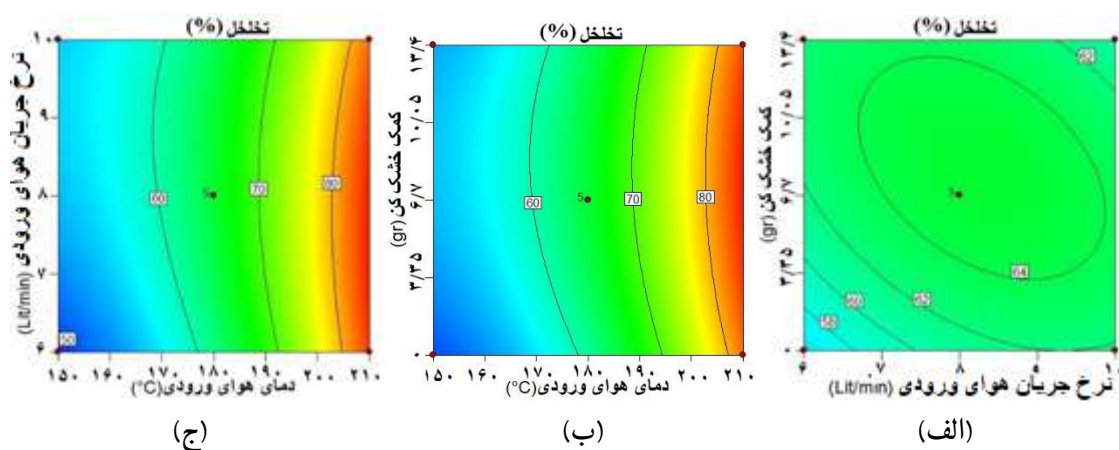
شکل ۴- بررسی اثرهای متغیرهای مستقل بر چگالی ذرات پودر عصاره اسطوخودوس



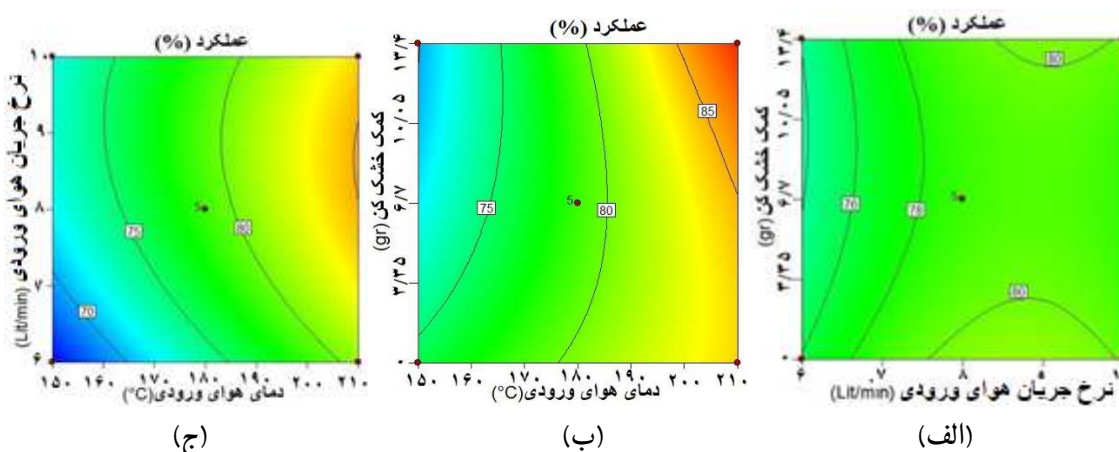
## تخلخل

فرصت کافی برای چروکیده شدن و کوچک شدن ذرات وجود ندارد. بنابراین با افزایش میزان کمک خشک‌کن، محتوای رطوبتی کاهش و میزان هوای محبوس بین ذرات بیشتر می‌شود. در نتیجه چگالی توده‌ای کاهش و تخلخل افزایش می‌یابد. با افزایش میزان جریان هوای فشرده اندازه ذرات کوچک‌تر می‌شود، بنابراین رطوبت و حجم بین ذرات کم شده و تخلخل کاهش می‌یابد (شکل‌های ۵-الف، ۵-ب و ۵-ج).

تخلخل نمونه‌های پودر اسطوخودوس بین ۴۷ تا ۸۷٪ متغیر بود. نتایج نشان داد که اثرهای ساده تمامی متغیرهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر مقدار تخلخل نمونه‌های پودر اسطوخودوس در سطح ۱٪ داشته‌اند. به طوری که میزان تخلخل نمونه‌ها به صورت معکوس تابعی از چگالی آنهاست. با توجه به کاهش چگالی با افزایش دما، این پدیده توجیه‌پذیر است. همچنین در درجه حرارت بالا سرعت تبخیر آب بیشتر بوده و پوسته سریع‌تر تشکیل می‌شود و



شکل ۵- بررسی اثرهای متغیرهای مستقل بر تخلخل پودر عصاره اسطوخودوس



شکل ۶- بررسی اثرهای متغیرهای مستقل بر عملکرد خشک‌کن پاششی



## عملکرد

بازدهی عملکرد فرایند خشک کردن نمونه‌های پودر اسطوخودوس در محدوده ۶۶ تا ۸۹٪ متغیر بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرهای ساده تمامی متغیرهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر مقدار عملکرد خشک کردن نمونه‌های پودر اسطوخودوس داشته است. تحلیل نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهد که بهترین شرایط برای افزایش بازدهی تولید پودر عصاره از عصاره آبی گیاه اسطوخودوس در دمای ورودی ۲۱۰ سلسیوس و نرخ جریان هوای ورودی ۸ لیتر بر دقیقه و نسبت جرمی ۵۰٪ کمک خشک‌کن می‌باشد. با افزایش نرخ انتقال همزمان حرارت و جرم، ذرات سریع‌تر خشک شده و فرصت برخورد و چسبیدن به دیواره محفظه خشک‌کن را نخواهند داشت، بنابراین عملکرد خشک‌کن افزایش می‌یابد (شکل‌های ۶-الف، ۶-ب و ۶-ج).

## بحث

افزایش میزان دمای هوای ورودی باعث کاهش محتوای رطوبتی محصول شد. این نتیجه منطبق بر یافته Santana و همکاران (۲۰۱۳) در مورد پودر پیکویی می‌باشد، زیرا افزایش دمای هوای ورودی سبب افزایش گرادیان دمایی بین ذرات متمیزه می‌شود؛ بنابراین حرارت بیشتری به ذرات وارد و نرخ تبخیر بالا می‌رود و محتوای رطوبتی کمتر می‌شود. نتایج مشابهی توسط Muzaffar و Kumar (۲۰۱۵) در مورد پودر تمبره‌ندی و Patil و همکاران (۲۰۱۴) در مورد پودر گواوا گزارش شده است. افزایش نرخ جریان هوای فشرده، سبب کاهش محتوای رطوبتی محصول شد. این نتیجه منطبق بر یافته‌های Fazaeli و همکاران (۲۰۱۲) و Goula و Adamopoulos (۲۰۰۵) که به ترتیب در مورد آبمیوه توت سیاه و پودر پالپ گوجه‌فرنگی می‌باشد، منطبق است. از سویی چگالی توده‌ای بیشتر به معنای هوای بین ذره‌ای کمتر است که باعث می‌شود حساسیت پودر نسبت

به اکسیداسیون کمتر شده و ماندگاری آن بالا رود (Tan *et al.*, 2015). در این تحقیق بیشترین چگالی توده‌ای در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس حاصل گردید. در گزارش Ghobadian و Chegini (۲۰۰۵) پودرهای با محتوای رطوبت بالا چگالی توده‌ای کمتری داشته‌اند، زیرا افزایش مقدار کمک خشک‌کن‌ها سبب کاهش محتوای رطوبتی و افزایش چگالی توده‌ای می‌شود. همچنین Goula و Adamopoulos (۲۰۱۰) و Jafari و همکاران (۲۰۱۷) نتایج مشابهی را به ترتیب در مورد آب پرتقال و پودر آب‌میوه انار گزارش کردند.

تخلخل بالا نشانگر وجود فضاهای خالی زیاد بین ذرات است، بنابراین مقدار اکسیژن در دسترس برای انجام واکنش‌های شیمیایی بیشتر خواهد بود. همچنین در پودر با تخلخل کمتر، فضاهای خالی بین ذرات کمتر شده و در طول ذخیره‌سازی، کمتر با تخریب روبه‌رو خواهد شد (Santhalakshmy *et al.*, 2015).

افزایش میزان دمای هوای ورودی سبب افزایش عملکرد نمونه‌های پودر اسطوخودوس شد. این نتیجه منطبق بر یافته سایر پژوهشگران نیز می‌باشد. افزایش نرخ جریان هوای فشرده سبب افزایش عملکرد خشک کردن در نمونه‌های پودر شد که این نیز مطابق بر یافته‌های Rahmati و همکاران (۲۰۱۸) می‌باشد. این افزایش بازده ناشی از نقش و عملکرد مالتودکسترین به‌عنوان کمک خشک‌کن و ایجاد یک لایه و فیلم نازک غیرچسبنده اطراف ذرات در زمان خشک کردن است و کاهش چسبندگی موجب افزایش عملکرد خشک کردن می‌شود. با در نظر گرفتن تمامی فاکتورهای فیزیکی مورد ارزیابی، نقطه بهینه برای تولید پودر عصاره اسطوخودوس در دمای هوای ورودی ۱۷۷/۲۹ درجه سلسیوس، نرخ پاشش ۱۰ لیتر بر دقیقه و نسبت مالتودکسترین به جرم ماده خشک عصاره ۶۷٪ بدست آمد؛ در این شرایط محتوای رطوبت ۶/۶٪، فعالیت آبی ۰/۲۸، چگالی توده‌ای ۰/۵۸ گرم بر میلی‌لیتر، چگالی ذرات ۱/۴۶ گرم

- powder. *Journal of Food Engineering* 98(3): 385-392.
- Langrish, T.A.G. and Fletcher, D.F., 2001. Spray drying of food ingredients and applications of CFD in spray drying. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 40(4): 345-354.
  - Leung, H.K., 1986. Water activity and other colligative properties of foods: 193-228. In: Okose, M., (Ed.). *Physical and Chemical Properties of Food*. Amererica Society of Agricultural, 407p.
  - Muzaffar, K. and Kumar, P., 2015. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technology*, 279: 179-184.
  - Nadeem, H.S., 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(7): 1626-1635.
  - Okuyama, K. and Kousaka, Y., 1991. Particle density: 209-215. In: Iinoya, K., Gotoh, K. and Higashitani, K., (Eds.). *Powder Technology Handbook*. Marcel Dekker, New York, 794p.
  - Patil, V., Chauhan, A.K. and Singh, R.P., 2014. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*, 253: 230-236.
  - Pierucci, A.P., Andrade, L.R., Farina, M., Pedrosa, C. and Rocha-Lehao, M.H.M., 2007. Comparison of a-tocopherol microparticles produced with different wall materials: pea protein a new interesting alternative. *Journal of Microencapsulation*, 24(3): 201-213.
  - Rahmati, E., Sharifian, F. and Fatahi, M., 2018. Evaluation of the effect of different drying methods and additives on the physical and chemical properties of the extract of *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 34(5): 781-793.
  - Sadeghi, A., Shahidi, F., Mortazavi, S.A. and Mahalati, M.N., 2008. Evaluation of different parameters effect on maltodextrin production by amylase Termamyl 2-x. *World Appliance Sciences Journal*, 3(1): 34-39.
  - Santana, A.A., Kurozawa, L.E., de Oliveira, R.A. and Park, K.J., 2013. Influence of process conditions on the physicochemical properties of pequi powder produced by spray drying. *Drying Technology*, 31(7): 825-836.
  - 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.
  - Shahidi, F., Veidi, M., Mohebbi, M., Noshad, M. and Khalilian Movahed, M., 2014. Optimization of

بر میلی‌لیتر و تخلخل پودر ۶۰/۹۵٪ حاصل شد. نتایج حاصل بیانگر این است که فرایند تولید پودر عصاره اسطوخودوس با خشک‌کن پاششی روشی مناسب در فرآوری عصاره این گیاه می‌باشد و امکان تولید مواد اولیه صنایع غذایی و دارویی را امکان‌پذیر می‌سازد.

### منابع مورد استفاده

- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D. and Idaomar, M., 2008. Biological effects of essential oils-Areview. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 446-475.
- Boonyai, P., Bhandari, B. and Howes, T., 2004. Stickiness measurement techniques for food powders: A review. *Powder Technology*, 145: 34-46.
- Chegini, G.R. and Ghobadian, B., 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23(3): 657-668.
- Chiu, T.Y., Chiu, P.C., Chien, J.T., Ho, G.H., Yang, J. and Chen, B.H., 2007. Encapsulation of lycopene extract from tomato pulp waste with gelatine and poly(c-glutamic acid) as carrier. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 5123-5130.
- 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: 667-675.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G., 2005. Spray drying of *tomato pulp* in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66(1): 35-42.
- Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G., 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2): 342-351.
- Hosseinzadeh, S., Haddad Khodaparast, M.H., Bostan, A. and Mohebbi, M., 2016. Spraying of *Mentha spicata* oil by spray drying method. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 12(4): 499-511.
- Jafari, S.M., Ghalenoei, M.G. and Dehnad, D., 2017. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. *Powder Technology*, 311: 59-65.
- Kha, T.C., Nguyen, M.H. and Roach, P.D., 2010. Effect of spray-drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril

- drying temperatures on the physiochemical properties of an encapsulated bitter melon aqueous extract powder. *Powder Technology*, 281: 65-75.
- Telis, V.R.N. and Sobral, P.J.A., 2002. Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato. *Food Research International*, 35(5): 435-443.
  - Tonon, R.V., Brabet, C. and Hubinger, M.D., 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3): 907-914.
  - Shrestha, A.K., Howes, T., Adhikari, B.P., Wood, B.J. and Bhandari, B.R., 2007. Effect of protein concentration on the surface composition, water sorption and glass transition temperature of spray-dried skim milk powders. *Journal of Food Chemistry*, 104: 1436-1444.
  - Tan, S.P., Tuyen, C.K., Parks, S.E., Stathopoulos, C.E. and Roach, P.D., 2015. Effects of the spray-pomegranate spray drying conditions using surface-response method. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 3(2): 129-142.

## Evaluation of physical properties of lavender (*Lavandula stricta* Del.) extract powder produced in spray dryers

H. Meshkat<sup>1</sup>, F. Sharifian<sup>2\*</sup>, A. Hosainpour<sup>3</sup> and A.M. Nikbakht<sup>3</sup>

1- PhD. student, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2\*- Corresponding author, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, E-mail: f.sharifian@urmia.ac.ir

3- Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Received: September 2019

Revised: March 2020

Accepted: March 2020

### Abstract

In recent years, research on medicinal plants as therapeutic supplements has increased dramatically. Lavender (*Lavandula stricta* Del.) extract due to its special therapeutic properties is widely used in natural products. Due to the importance of physical quality of powder extract produced from medicinal plants in the food and pharmaceutical industry, in this research the performance of spray dryer in powder production of lavender extract at three levels of input temperatures including 150, 180, and 210 °C, three levels of input air flow rate including 6, 8, and 10 L min<sup>-1</sup> and the ratios of 0, 25, and 50% maltodextrin drying aid to the dry matter mass of the extract were studied using the response surface method and physical properties of the produced powder were investigated. The moisture content, aqueous activity, bulk density, particle density, and porosity of powder samples varied in the range of 5.10-8.70%, 0.26-0.30%, 0.45-0.60 g mL<sup>-1</sup>, 0.99-2.50 g mL<sup>-1</sup>, and 47-87%, respectively. The maximum dryer yield in the production of lavender powder was determined to be 89% at a temperature of 210 °C and an air flow rate 8 L min<sup>-1</sup> and a mass ratio 50% of dryer aid. Taking into account all the physical factors evaluated, the optimum point in processing lavender extract was obtained at input air temperature of 177.29 °C and input air flow rate of 10 L min<sup>-1</sup>, and ratio of maltodextrin to dry matter mass of extract of 67, in which moisture content, aqueous activity, bulk density, particle density, and powder porosity were 6.6%, 0.28, 0.58 g mL<sup>-1</sup>, 1.46 g mL<sup>-1</sup>, and 60.95%, respectively.

**Keywords:** Lavender powder, aqueous activity, mass density, dryer performance, maltodextrin, optimization.