

## اثر دمای هوای ورودی، نوع و غلظت ماده حامل بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و ضداکسایشی عصاره مرزنجوش ریزپوشانی شده با خشک کن پاششی

زهرا اکبربگلو<sup>۱</sup>، سیده‌ادی پیغمبردوست<sup>۲\*</sup>، عارف اولادغفاری<sup>۳</sup> و خشایار سرابندی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۳

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> عضو هیات علمی گروه پژوهشی مواد غذایی، پژوهشکده غذایی و کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد کرج

<sup>۴</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

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

### چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی اثر دمای هوای ورودی (۱۶۰، ۱۴۰، ۱۲۰ و ۱۰۰°C)، نوع (مالتودکسترین یا صمغ عربی) و غلظت حامل (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی-حجمی) بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی عصاره مرزنجوش خشک شده به روش پاششی است. بازده تولید پودر، رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده و ضربه، انحلال، ویژگی‌های جذب رطوبت، نهم‌پذیری، جریان‌پذیری (نسبت هاسنر و زاویه ریپوز)، شاخص‌های رنگی، ریزساختار، مقدار فنل کل و فعالیت مهار رادیکال DPPH ارزیابی شدند. نتایج نشان دادند که، بازده تولید پودر (۶۷/۶۲-۴۴/۴۴ درصد)، مقدار رطوبت (۲/۲۲-۱/۱۸ درصد) و فعالیت آبی پودرها (۱۰/۶-۲۰/۶) به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع، غلظت حامل و دمای هوای ورودی قرار گرفتند. دانسیته توده، ضربه و شاخص جریان‌پذیری پودرها با افزایش نسبت حامل و دمای هوای ورودی، کاهش یافت. مقدار جاذب‌الرطوبه بودن و انحلال‌پذیری پودرها با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت حامل به‌ترتیب، افزایش و کاهش یافتند. افزایش دمای هوای ورودی و غلظت حامل موجب کاهش رنگ نمونه‌ها گردید. مقدار فنل کل پودرها با افزایش دمای هوای فرآیند کاهش یافت. اما، در دماهای بالاتر (۱۶۰ و ۱۸۰°C)، افزایش غلظت حامل موجب افزایش مقدار فنل کل گردید. این نتیجه به‌دلیل اثر حفاظتی حامل بر حفظ ترکیبات فنلی در طول خشک کردن است. نتایج مشابهی در مورد فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرها مشاهده گردید. میکروساختار پودرها نشان دادند که پودرهای تولید شده با صمغ عربی ذرات با اندازه مشابه‌تر و چروکیده‌تری از نمونه‌های تولید شده با مالتودکسترین داشتند. اما نمونه‌های تولید شده با مالتودکسترین، از سطحی صاف‌تر اما چسبندگی بیشتر برخوردار بودند.

واژگان کلیدی: ترکیبات فنلی، خشک کن پاششی، ریزپوشانی، مرزنجوش، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی

### مقدمه

کوهی است. گیاه مرزنجوش به صورت تازه و خشک شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. برگ‌های تازه به صورت کامل یا خرد شده و برگ‌های خشک به صورت

گیاه مرزنجوش (*Origanum majorana*) از خانواده نعناع و در برخی کشورهای خاورمیانه، مترادف با پونه

به پودر به منظور نگهداری، تسهیل انبارداری، حمل و نقل، جابجایی و سایر صرفه‌های اقتصادی می‌باشد (موجودمدار ۲۰۰۴).

از جمله تحقیقات انجام شده به وسیله خشک کردن پاششی می‌توان به استفاده از انواع حامل در ریزپوشانی عصاره آبی مرزه (ویدوویک و همکاران ۲۰۱۴) و عصاره میوه گاک (خا و همکاران ۲۰۱۰) اشاره کرد. از جمله ترکیبات حامل یا دیواره می‌توان به صمغ‌ها، نشاسته‌های اصلاح شده، دکسترین‌ها و لیپیدها اشاره کرد (وایدا و همکاران ۲۰۰۶). مالتودکسترین به عنوان محصول حاصل از هیدرولیز آنزیمی نشاسته از بیشترین کاربرد در بین حامل‌های مختلف در خشک کردن پاششی انواع عصاره‌ها و سیروپ‌ها برخوردار است (گولا و آداموپولوس ۲۰۱۰). صمغ عربی نیز به دلیل حلالیت بالا و ویسکوزیته پائین، همچنین دارا بودن مقدار کمی پروتئین در ترکیب خود و خاصیت امولسیفایری از کاربرد گسترده‌ای به عنوان عامل دیواره و کپسوله کننده برخوردار است (کوئک و همکاران، ۲۰۰۷؛ فراسکارلی و همکاران ۲۰۱۲). با در نظر گرفتن مزایای خشک کردن پاششی، هدف از این مطالعه بررسی اثر نوع، غلظت حامل‌های مالتودکسترین و صمغ عربی و دماهای مختلف فرآیند بر بازده تولید، ویژگی‌های فیزیکی، میکروساختار، همچنین مقدار فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش خشک شده به روش پاششی است.

## مواد و روش‌ها

### آماده سازی ماده اولیه

برگ‌های گیاه مرزنجوش از مناطق کوهستانی خوی (استان آذربایجان غربی) جمع آوری و به مدت ۳ روز در سایه در دمای اتاق خشک گردید. برگ‌ها سپس توسط آسیاب چکشی خرد و از الک با مش ۰/۴ میلی‌متر عبور داده شد و تا زمان انجام آزمایشات در فریزر خانگی نگهداری گردید.

کامل یا پودر شده به عنوان چاشنی و در سالاد استفاده می‌شود. دانه‌های معطر آن در فرانسه برای مربا و شیرینی‌سازی استفاده می‌شود. عطر دلپذیر، معطر و تند، طعم خنک، تند، تلخ و کمی زننده، مانند کافور دارد. بوی شیرین و محسوس ریحان و آویشن را دارد. اجزای تشکیل دهنده اصلی آن شامل اسانس روغنی (۲۰٪) - ترپین-۴-ال، (۲۰٪) جی- ترپینن، هیدرات سابینن (۱۲٪-۱۵٪)، ای-ترپینول، سابینن و لینالول هستند. ترکیبات دیگر شامل گلیکوزید فلاونوئیدها، تانن، استروئیدها و ویتامین‌ها (مانند A و C) و اسیدهای فنولیک عمده سیناپیک، فرولیک، کومارینیک، کافئیک، سیرینیک، وانیلیک و اسید ۴- هیدروکسی بنزوئیک اسید (پتر و همکاران ۲۰۰۸) می‌باشند. عصاره یا دمنوش مرزنجوش به عنوان ضد عفونی کننده، ضد دیابت، ضد نفخ، ضد اسپاسم، محرک، معرق، مدر و یک ماده مقوی و درمانی برای آسم، سرفه، سوء هاضمه، روماتیسم، سردرد و دندان درد استفاده می‌شود. همچنین از آن برای درمان سرطان استفاده شده است (راوو و همکاران ۲۰۰۶). در بین ترکیبات فعال مرزنجوش، پلی‌فنول‌ها از فراوان‌ترین متابولیت‌های ثانویه می‌باشند. از جمله خواص بیولوژیک مفید پلی‌فنول‌ها می‌توان به اثرات ضدباکتریایی، ضد ویروسی، آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی آن‌ها اشاره کرد (بنیک ۲۰۰۲). ناپایداری این ترکیبات، دشواری استفاده از عصاره‌ها و دمنوش‌های مایع، مشکلات حمل و نقل، نگهداری از جمله چالش‌های پیش رو در قابلیت استفاده از این ترکیبات می‌باشند. از طرف دیگر پلی‌فنول‌ها ناپایدار بوده و طعم تلخ و نامطلوبی دارند که این ویژگی نیز استفاده‌ی دارویی و خوراکی این ترکیبات را محدود می‌سازد (بل ۲۰۰۱). یکی از راه‌های کاهش این مشکلات، ریزپوشانی ترکیبات فنولی و حساس به شرایط نامساعد محیطی است (جعفری و همکاران ۲۰۰۸). در بین انواع روش‌های ریزپوشانی، خشک کردن پاششی یک عملیات متداول برای تبدیل مواد مایع

### تهیه محلول خوراک

به ۱۰۰ میلی لیتر آب با دمای  $80^{\circ}\text{C}$ ، مقدار معینی برگ مرزنجوش خشک و خرد شده با نسبت ۱ به ۱۰ افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در همین دما به آرامی هم زده شد. سپس عصاره استخراج شده از کاغذ صافی واتمن شماره یک عبور داده شد. مالتودکسترین (پوران پودر سپاهان، اصفهان) با دکستروز اکی‌والان ۱۸ و صمغ عربی (مرک، آلمان) هر دو در نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی-حجمی در عصاره به‌عنوان حامل توسط همزن مغناطیسی (L-81، لایبیکو بی وی، هلند) حل شدند. خوراک حاصل جهت انحلال کامل ترکیبات حامل و تولید محلولی شفاف، به مدت ۶ ساعت قبل از فرآیند خشک کردن پاششی در حال هم زدن نگهداری و سپس به خشک‌کن پاششی منتقل شدند.

### خشک کردن پاششی

در این تحقیق از خشک‌کن پاششی در مقیاس پایلوت (مهام صنعت، نیشابور، ایران) استفاده گردید. محفظه خشک‌کن به‌صورت استوانه‌ای با قسمت تحتانی مخروطی شکل با قطر قسمت استوانه‌ای ۱ متر و ارتفاع کل محفظه ۲ متر بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی پریستالیتیک با دبی تغذیه متغیر و ظرفیت حداکثر ۳ لیتر مایع در ساعت با فشار ۱ بار، برای ارسال خوراک به نازل است. فرآیند پاشش توسط اتمایزر چرخشی با قطر ۵ سانتی‌متر و قابلیت چرخش توسط کمپرسور هوا، صورت گرفت. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار اتمایزر با استفاده از نتایج حاصل از آزمون و خطاهای انجام گرفته به‌ترتیب در  $1800\text{rpm}$ ،  $1\text{ml/min}$ ،  $1\pm 0.2$  بار ثابت نگه داشته شدند. خوراک‌های از قبل تهیه شده به صورت هم‌جهت با هوای ورودی ( $160$ ،  $160$ ،  $180^{\circ}\text{C}$ ) به داخل محفظه پمپ شدند. پودرهای حاصل از خروجی اصلی تا رسیدن به دمای ثابت و ممانعت از تغییرات رطوبت در دسیکاتور قرار گرفته و سپس در شیشه‌های تیره و

دور از نور تا زمان انجام آزمایشات نگه‌داری گردید. آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه قبل از شروع خشک کردن تا رسیدن به دمای خشک‌کن به میزان ثابت، به عنوان خوراک به دستگاه داده شد.

### بازده تولید پودر

بازده تولید محصول به‌صورت نسبت وزن پودر بدست آمده به جرم کل ماده جامد موجود در خوراک (بر حسب ماده خشک) محاسبه گردید. در این مطالعه، پودر جمع‌آوری شده در شیشه انتهایی دستگاه به عنوان محصول اصلی جهت محاسبه بازده فرآیند و انجام آزمون‌های پودر مورد استفاده قرار گرفت.

### اندازه گیری رطوبت

۲ گرم پودر در یک پتری دیش به مدت ۳ ساعت در آون با دمای  $105\pm 2^{\circ}\text{C}$  قرار داده شد، در نهایت در دسیکاتور خنک و وزن گردید. مقدار رطوبت با رابطه ۱ محاسبه شد. مقدار رطوبت از طریق معادله ۱ محاسبه گردید (اروپین فارماکوپیا ۲۰۰۷).

$$M\% = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100 \quad (1)$$

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

### اندازه گیری فعالیت آبی

فعالیت آبی پودرهای مرزنجوش نیز با دستگاه سنجش فعالیت آبی (Rotronic، آلمان) تعیین شد. دستگاه یک ساعت قبل از آزمون روشن گردید. بعد از کالیبراسیون، محفظه دستگاه تا محل تعیین شده (دو سوم حجم ظرف) پر، سپس فعالیت آبی نمونه‌ها در دمای محیط (حدود  $30^{\circ}\text{C}$ ) اندازه‌گیری شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام و میانگین آنها گزارش گردید.

### دانسیته توده و دانسیته حاصل از ضربه

دانسیته توده با افزودن تدریجی ۲ گرم پودر عصاره مرزنجوش به استوانه مدرج و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، به‌صورت گرم بر میلی لیتر محاسبه گردید. سپس با استفاده از

پودرها نیز از روش فوجس و همکاران (۲۰۰۶)، با کمی اصلاحات استفاده شد. بدین ترتیب که ۰/۲ گرم پودر در دمای محیط بر سطح ۱۰۰ ml آب مقطر بدون هم‌زدن ریخته شد. زمان صرف شده برای ته‌نشست ذرات از سطح آب به طوریکه هیچ ذره‌ای بر سطح نمانده باشد برای محاسبه شاخص نم‌پذیری ثبت گردید.

#### جاذب‌الرطوبه‌بودن

قابلیت جذب رطوبت پودرها به شکل مقدار رطوبت (گرم آب جذب شده) توسط ۱۰۰ گرم پودر طی ۷ روز نگهداری در دمای °C ۲۵ با رطوبت نسبی RH=۹۰٪ (در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید باریوم) تعیین گردید (کای و کورک ۲۰۰۰).

#### ارزیابی رنگ

به منظور رنگ‌سنجی پودرهای تولیدی، از روش عکس‌برداری دیجیتال استفاده شد. به این صورت که نمونه‌های پودر عصاره برگ مرزنجوش درون محفظه-ای با دیواره‌های جانبی سفید با ابعاد ۶۰×۵۰×۵۰ سانتی‌متر قرار داده شد که در آن دو لامپ فلورسنت مخصوص با نور سفید در سقف قرار گرفته بود و توزیع نور کاملاً یکنواختی در آن وجود داشت. عکس‌برداری توسط دوربین دیجیتالی با وضوح ۱/۱۶ مگاپیکسل (سونی، DSC-W570، ساخت ژاپن) که در موقعیت عمود بر نمونه (با فاصله ۳۰ سانتی‌متر) انجام گرفت. سپس تصاویر به‌دست آمده به نرم‌افزار فتوشاپ (Adobe Photoshop CS5) منتقل شد و مؤلفه‌های رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  آن‌ها استخراج گردید. شاخص‌های Hue و Chroma نیز طبق رابطه‌های ۳ و ۴ از فاکتورهای رنگی محاسبه شدند (کوئک و همکاران ۲۰۰۷):

$$\text{Hue} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (۳)$$

$$\text{Chroma} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (۴)$$

ریزساختار پودرها با میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح‌ظاهری ذرات پودر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (مدل Pemteron PS-230، کره

دانسیتومتر ضربه‌ای، ضربات مداومی به استوانه وارد تا زمانی‌که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود (میانگین ۵۰۰ ضربه)، در نهایت نسبت جرم پودر به حجم خوانده شده محاسبه و دانسیته توده حاصل از ضربه بدست آمد. نسبت هاسنر به صورت نسبت دانسیته ضربه به دانسیته توده محاسبه شد (گولا و آداموپولوس ۲۰۰۵).

#### اندازه‌گیری جریان‌پذیری (زاویه ریپوز) و پیوستگی

زاویه ایستا (ساکن) ریپوز از نوع زاویه استاتیک پرشونده یا ریزشی برای تعیین جریان‌پذیری نسبی پودرهای غذایی اندازه‌گیری می‌شود. مقدار ۱۰ گرم پودر عصاره مرزنجوش را وزن و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی ۱۲ میلی‌متر عبور داده تا بر یک سطح افقی صاف ریخته شده و تشکیل یک توده دهد. زاویه ریپوز از طریق زاویه شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید (بی‌هانداری و همکاران ۱۹۹۷).

مقادیر پیوستگی پودرها با استفاده از روش جیناپونگ و همکاران (۲۰۰۸) و با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید.

$$HR = \frac{TD}{BD} \quad (۲)$$

در این فرمول HR (نسبت هاسنر)، TD (دانسیته حاصل از ضربه) و BD (دانسیته توده) می‌باشند.

#### شاخص‌های انحلال‌پذیری و نم‌پذیری

۱ گرم پودر تحت شرایط هم‌زدن پیوسته (دور چرخش ۳۸۵ rpm به مدت ۵ دقیقه) به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه گردید. دیسپرسیون حاصل تحت شتاب ثقلی ۳۰۰۰×g به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد. سپس به مقدار ۲۵ ml از حجم محلول فوقانی جدا و به یک پتری دیش که از قبل وزن‌گردیده بود، منتقل و در آن با دمای ثابت °C ۱۰۵ به مدت ۵ ساعت خشک گردید. اختلاف وزن ماده خشک ظرف به نسبت پودر اولیه بر حسب درصد جهت تعیین انحلال‌پذیری در آب به‌کار رفت (کانو و همکاران ۲۰۰۵). برای تعیین نم‌پذیری

نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتری قرائت شد. فعالیت مهار رادیکال آزاد بر اساس درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید.

$$\text{درصد بازدارندگی} = \{(A_c - A_s) / A_c\} * 100 \quad (5)$$

### آنالیز آماری

در پژوهش حاضر دو فاکتور عددی دمای هوای ورودی و غلظت حامل (مالتودکسترین و صمغ عربی هر فاکتور در سه سطح) با کاربرد طرح فاکتوریل کامل و در سه تکرار مورد مطالعه قرار و اثرات خطی و متقابل فاکتورها با کاربرد آنالیز واریانس یک‌طرفه و استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ مورد ارزیابی قرار گرفتند تا فاکتورهای مؤثر از لحاظ آماری شناسایی شوند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت بررسی معنی‌دار بودن داده‌ها در سطح احتمال خطای ۹۵٪ مشخص گردید.

### نتایج و بحث

#### بازده تولید پودر

شکل ۱ اثر دمای هوای ورودی، غلظت و نوع حامل را بر بازده تولید پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش نشان می‌دهد. با افزایش دمای هوای ورودی در همه غلظت‌های مالتودکسترین، مقدار بازده تولید پودر افزایش یافت. در مورد صمغ عربی، افزایش بازده با افزایش دما از ۱۴۰ به ۱۶۰ °C رخ داد. اما، دمای ۱۸۰ °C موجب تفاوت معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) در افزایش بازده تولید پودر نشد. در خصوص اثر افزایش غلظت حامل نیز، با افزایش غلظت مالتودکسترین، راندمان تولید پودر کاهش یافت که این روند در خصوص تیمارهای تولید شده با صمغ عربی به ترتیب افزایش و کاهش راندمان تولید پودر با افزایش غلظت حامل از ۱۰ به ۲۰ و ۳۰ درصد مشاهده گردید. افزایش بازده تولید در نتیجه افزایش دمای هوا را می‌توان به دلیل افزایش ضریب (تأثیر یا کارایی) انتقال هم زمان جرم و انرژی و

جنوبی) مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها به طور مجزا با استفاده از نوار چسب‌های دوسویه بر صفحه‌های آلومینیومی قرار گرفتند. سپس عمل روکش‌دهی ذرات با استفاده از لایه نازکی از طلا انجام شد. در نهایت نمونه‌های پوشش‌دهی شده به میکروسکوپ منتقل و مشاهده ساختار سطحی ذرات صورت گرفت (سانتالاکشمی و همکاران ۲۰۱۵).

#### اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل

مقدار ترکیبات فنلی کل موجود در عصاره از طریق روش رنگ سنجی به روش فولین-سیوکالچو تعیین گردید. در این روش مقدار ۱ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی، با ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالچو (برای تهیه این معرف، معرف فولین سیوکالچو غلیظ با آب مقطر به نسبت ۱ به ۱۰ رقیق شد) مخلوط شده و بعد از ۵ دقیقه، با ۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم اشباع به خوبی مخلوط گردید. نمونه‌ها به مدت ۴۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس جذب محلول در سه تکرار توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (VISIBLEUV-2100) در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. مقدار کل ترکیبات فنلی با استفاده از معادله خط رسم شده برای اسیدگالیک، بر مبنای میلی‌گرم اسیدگالیک در میلی‌لیتر عصاره بیان شد (مک دونالد و همکاران ۲۰۰۱).

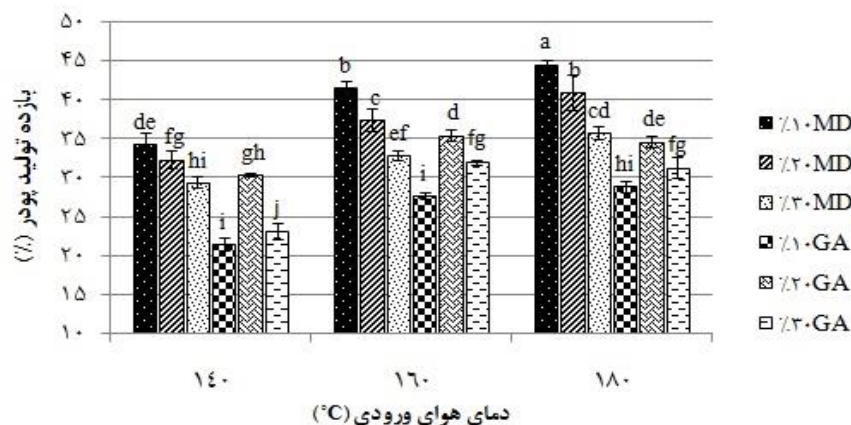
#### اندازه‌گیری مهار رادیکال‌های آزاد DPPH

فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) پودرهای حاصل با استفاده از روش برند ویلیامز و همکاران (۱۹۹۵) محاسبه شد. بر اساس این روش ۱ گرم از پودرهای حاصل را در ۱۰ میلی‌لیتر متانول آب مقطر حل کرده و به خوبی هم زده شد. ۳/۹ میلی‌لیتر از محلول متانولی DPPH (۰/۱ میلی‌مولار) را به ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول پودری افزوده و به خوبی ورتکس شد. سپس مخلوط حاصل در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند و در نهایت به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و دمای محیط قرار گرفتند. بعد از این مدت، جذب آن‌ها در طول موج ۵۱۷

همکاران ۲۰۱۳) و پیگمان‌های بتاسیانین آمارانتوس (کایی و کرک ۲۰۰۰) گردید. افزایش غلظت حامل نیز موجب افزایش بازده پودر حاوی عصاره آبی چای کوهی گردید (ندیم و همکاران ۲۰۱۳). اگرچه تانن و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که افزایش غلظت مالتودکسترین بدلیل افزایش ویسکوزیته مخلوط موجب کاهش بازده فرآیند می‌شود.

کاهش احتمال برخورد ذرات نیمه مرطوب که به اندازه کافی خشک نشده‌اند به دیواره محفظه خشک کن و کاهش احتمال چسبیدن این ذرات نیمه خشک به یکدیگر و به دیواره و در نهایت تشکیل رسوب بر آن، نسبت داد. به‌طور کلی مالتودکسترین در غلظت‌های پایین و دماهای هوای ورودی بالا بهترین تأثیر در افزایش راندمان تولید پودر را نشان داد.

در تحقیقات دیگری، افزایش دما موجب کاهش بازده تولید پودرهای حاوی عصاره آبی چای کوهی (ندیم و



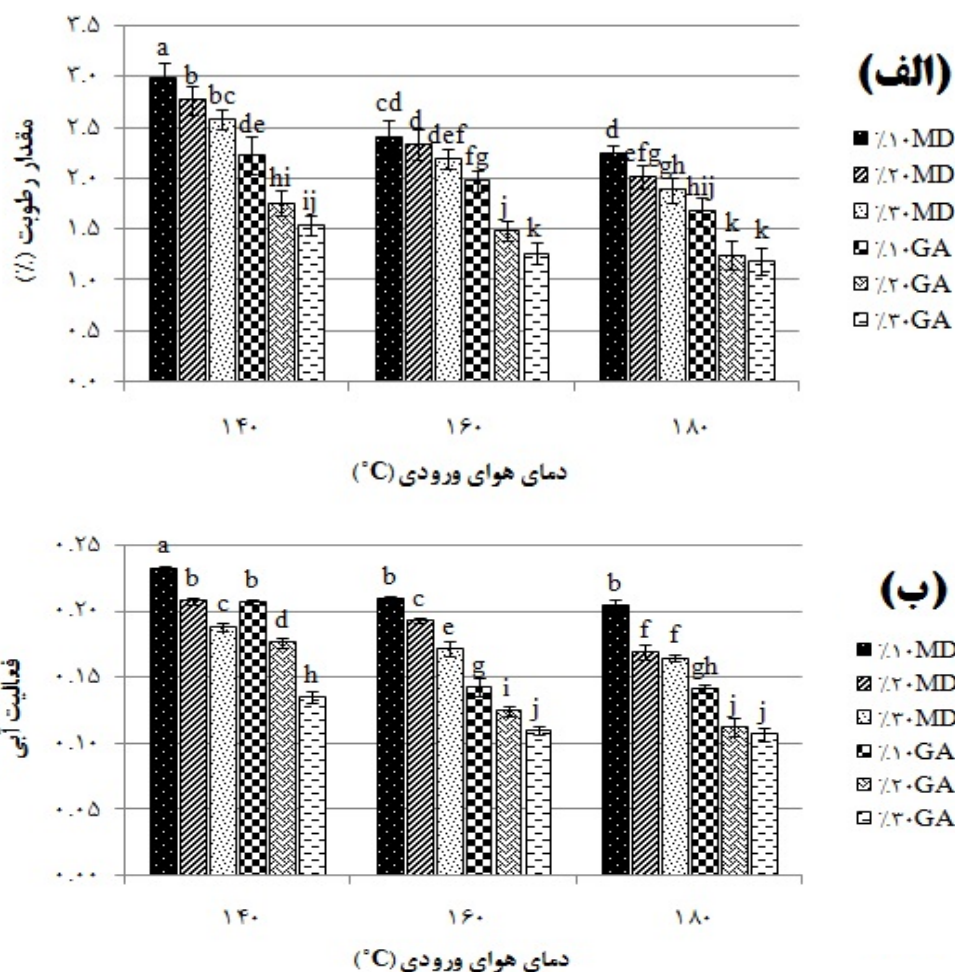
شکل ۱- اثر دمای هوای ورودی، غلظت و نوع حامل بر بازده تولید پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش

حروف مشابه در ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بین نمونه‌ها می‌باشند.

دمای هوای فرآیند منجر به افزایش انتقال حرارت در ذرات و در نتیجه نیروی محرکه بیشتری برای تبخیر آب و در نهایت تولید پودر با رطوبت پایین‌تر می‌شود (شکل ۲، الف). مشابه نتایج حاصل از اندازه‌گیری رطوبت، پودرهای تولید شده با مقدار کمتر حامل و در دماهای پائین‌تر از فعالیت آبی بیشتری برخوردار بودند. نتایج حاصل از ارزیابی مقدار رطوبت و فعالیت آبی پودرها، نشان دهنده پایداری میکروبیولوژیکی مناسب است (کوئک و همکاران ۲۰۰۷).

#### مقدار رطوبت و فعالیت آبی

با افزایش غلظت حامل‌ها (در هر دو نوع حامل مالتودکسترین و صمغ عربی) از ۱۰ به ۳۰ درصد و دمای هوای ورودی از ۱۴۰ به ۱۶۰ درجه، مقدار رطوبت پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش کاهش یافت. افزایش دمای هوای ورودی، میزان رطوبت نمونه‌ها کاهش یافت. افزایش ماده جامد خوراک با افزایش مقدار رطوبت آزاد در دسترس برای تبخیر موجب کاهش مقدار رطوبت محصول نهایی می‌شود. افزایش



شکل ۲- اثر دمای هوای ورودی، غلظت و نوع حامل بر (الف) مقدار رطوبت و (ب) فعالیت آبی پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش خشک شده به روش پاششی

حروف مشابه در ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بین نمونه‌ها می‌باشند.

پودر آب چغندر قند (بازاریا و کومار ۲۰۱۶)، پودر گاک (خا و همکاران ۲۰۱۰).

#### دانسیتته توده و دانسیته حاصل از ضربه

همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میزان دانسیته توده و ضربه پودرهای تولیدی در اثر افزایش دمای ورودی و افزایش غلظت حامل کاهش یافته است. همچنین نتایج آنالیز آماری نشان دهنده این بودند که در نسبت یکسانی از حامل و دمای هوای فرآیند، نمونه‌های تولید شده با مالتودکسترین از دانسیته توده و ضربه بالاتری برخوردار بودند. افزایش درجه حرارت هوای خشک کردن باعث کاهش دانسیته توده می‌شود،

در تحقیقات مشابهی نیز، افزایش دما موجب کاهش رطوبت پودر عصاره تفاله آسیرولا (گادلها موریرا و همکاران ۲۰۰۹)، پودر عصاره آبی چای کوهی (ندیم و همکاران ۲۰۱۳)، پودر آکایی (تانن و همکاران ۲۰۰۸)، آب هندوانه (کوئک و همکاران ۲۰۰۷)، کنسانتره آب پرتقال (گولا و آداموپولوس ۲۰۱۰)، پودر گاک (خا و همکاران ۲۰۱۰) گردید. همچنین مشابه یافته‌های حاصل از این تحقیق، افزایش غلظت حامل نیز موجب کاهش رطوبت پودرهای عصاره آبی چای کوهی (ندیم و همکاران ۲۰۱۳)، پالپ لولو (ایگوئل و همکاران ۲۰۱۴)، عصاره تفاله آسیرولا (گادلها موریرا و همکاران ۲۰۰۹)،

کاهش می‌یابد. با افزایش درجه حرارت، رطوبت کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه تشکیل پل‌های مایع بین ذرات کمتر شده که باعث کاهش درجه پیوستگی پودر می‌گردد (جیناپونگ و همکاران ۲۰۰۸). همچنین، افزایش غلظت حامل با افزایش ویسکوزیته خوراک و در نتیجه افزایش اندازه ذرات موجب کاهش زاویه ریپوز و پیوستگی پودرها می‌گردد. علت بهبود جریان‌پذیری پودرها در نمونه‌های تولید شده با صمغ عربی را نیز می‌توان به چسبندگی کمتر ذرات تولید شده نسبت داد. این حالت در تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی نیز قابل مشاهده است. در تحقیق مشابهی، افزایش غلظت حامل و نسبت جایگزینی مالتودکسترین با صمغ درخت بادام زمینی، موجب افزایش جریان‌پذیری پودرهای تفاله آسیرولا گردید (گادلها موریرا و همکاران ۲۰۰۹). ویژگی‌ها و مورفولوژی سطحی ذرات نیز بر شاخص‌های جریان‌پذیری پودرها موثرند. بدین شکل که، ذرات با چروکیدگی یا تورفتگی سطحی بیشتر، سطح تماس بین ذره‌ای کمتری نسبت به ذرات با سطوح صاف دارند. کاهش سطح تماس بین ذرات موجب کاهش واکنش‌ها و اتصالات بین ذره‌ای و در نتیجه کاهش پیوستگی پودرها می‌شود (وانگ و همکاران ۲۰۱۳).

#### اندازه‌گیری انحلال‌پذیری و نم‌پذیری

شکل ۳، اثر نوع، غلظت حامل و دمای هوای فرآیند بر حلالیت پودرهای خشک شده به روش پاششی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشاهده می‌شود، حلالیت نمونه‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر پارامترهای مورد مطالعه قرار گرفت ( $P < 0.05$ ). افزایش دمای هوای ورودی در هر دو حامل مورد استفاده منجر به بهبود حلالیت گردید. همچنین استفاده از نسبت‌های بالاتر مالتودکسترین موجب افزایش حلالیت گردید. اما استفاده از نسبت‌های بالاتر صمغ عربی اثر منفی بر

چون امکان تولید ذرات توخالی و پوک با چروکیدگی کم افزایش می‌یابد که در نتیجه اندازه ذرات بزرگتر شده و تخلخل و فضای خالی بین ذرات بیشتر می‌شود. اندازه ذره عامل مؤثر در دانسیته ضربه‌ای می‌باشد، اگر درصد ذرات درشت موجود در پودر بیشتر باشد در اثر ضربه حجم تغییر زیادی پیدا نمی‌کند بنابراین دانسیته ضربه‌ای کوچک‌تر می‌شود. همچنین، افزایش غلظت حامل نیز با افزایش ویسکوزیته خوراک موجب تولید قطرات درشت‌تری درون محفظه و در نهایت ذرات درشت‌تر خشک شده می‌شوند.

نتایج حاصل از این تحقیق مشابه یافته‌هایی دیگری است که در آن‌ها افزایش دما موجب کاهش دانسیته توده پودر کنسانتره آب پرتقال (گولا و آداموپولوس ۲۰۱۰)، پیگمان آمارانتوس (کایی و کرک ۲۰۰۰)، پودر گاک (خا و همکاران ۲۰۱۰)، پودر آکایی (تانن و همکاران ۲۰۰۸) گردید. مقدار دانسیته توده پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش نزدیک مقادیر دانسیته پودرهای آب آناناس (آبادیو و همکاران ۲۰۰۴) و پیگمان بتاسیانین آمارانتوس (کایی و کرک ۲۰۰۰) به ترتیب در محدوده ۰/۵۹ و ۰/۰۵۲/۶۴ g/ml بود.

#### جریان‌پذیری (زاویه ریپوز) و پیوستگی

جدول ۱، مقادیر شاخص‌های جریان‌پذیری زاویه ریپوز و پیوستگی پودرهای خشک شده به روش پاششی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که شاخص‌های جریان‌پذیری پودرها با افزایش دمای هوای ورودی و غلظت حامل بهبود یافتند. همچنین در بین حامل‌های مورد استفاده، با ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترهای مورد بررسی (دمای هوا و غلظت حامل)، نمونه‌های تولید شده با صمغ عربی از جریان‌پذیری بهتری برخوردار بودند. با افزایش درجه حرارت ورودی، میزان پیوستگی به دلیل افزایش اندازه ذرات و کاهش سطح تماس بین آنها و نیز پایین بودن رطوبت انحلال‌پذیری پودرها از خود نشان داد.

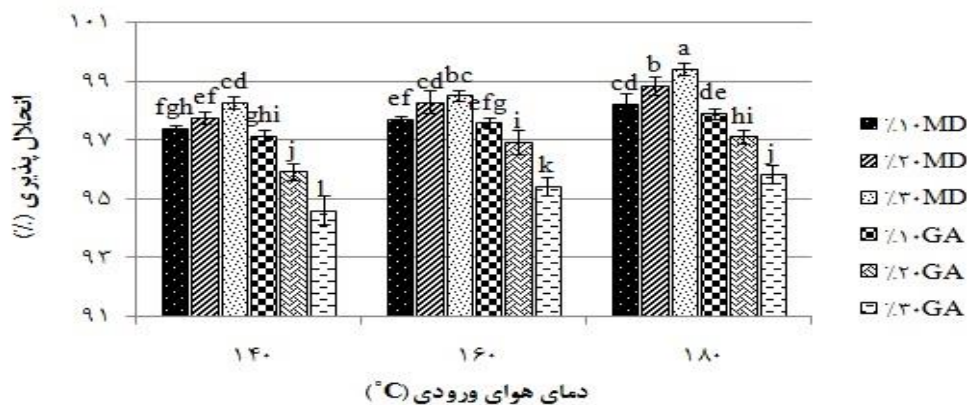


جدول ۱- اثر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی بر خواص فیزیکی شیمیایی پودرهای عصاره مرزنجوش

نوع حامل	غلظت حامل (درصد)	دما (°C)	دانسیته توده (g/ml)	دانسیته ضربه (g/ml)	نسبت هاسنر (HR)	ریپوز (درجه)	نم‌پذیری (ثانیه)
صمغ عربی	۱۰	۱۴۰	۰/۰±۴۹۳/۰۰۶ <sup>c</sup>	۰/۰±۶۲۷/۰۰۳ <sup>d</sup>	۱/۰±۲۷۰/۰۰۹ <sup>a</sup>	۳۶/۰±۳۳/۵۸ <sup>b</sup>	۴/۰±۳۳/۵۸ <sup>bcd</sup>
		۱۶۰	۰/۰±۴۷۵/۰۰۵ <sup>e</sup>	۰/۰±۶۰۳/۰۰۶ <sup>e</sup>	۱/۰±۲۶۹/۰۰۸ <sup>bc</sup>	۳۳/۰±۳۳/۵۸ <sup>d</sup>	۳/۰±۳۳/۵۸ <sup>def</sup>
		۱۸۰	۰/۰±۴۶۰/۰۰۱ <sup>f</sup>	۰/۰±۵۷۶/۰۰۶ <sup>f</sup>	۱/۰±۲۵۹/۰۰۱ <sup>cd</sup>	۳۲/۰±۳۳/۵۸ <sup>de</sup>	۲/۰±۶۷/۵۸ <sup>efg</sup>
		۱۴۰	۰/۰±۴۸۴/۰۰۵ <sup>d</sup>	۰/۰±۶۰۳/۰۰۶ <sup>e</sup>	۱/۰±۲۴۵/۰۰۴ <sup>de</sup>	۳۴/۰±۳۳/۵۸ <sup>c</sup>	۴/۰±۶۷/۵۸ <sup>bc</sup>
		۱۶۰	۰/۰±۴۶۵/۰۰۵ <sup>f</sup>	۰/۰±۵۷۲/۰۰۳ <sup>g</sup>	۱/۰±۲۲۹/۰۰۹ <sup>fg</sup>	۳۱/۰±۳۳/۵۸ <sup>e</sup>	۴/۰±۱۷/۲۹ <sup>cd</sup>
		۱۸۰	۰/۰±۴۳۵/۰۰۵ <sup>h</sup>	۰/۰±۵۲۰/۰۰۱ <sup>k</sup>	۱/۰±۱۹۵/۰۰۹ <sup>h</sup>	۲۹/۰±۳۳/۵۸ <sup>f</sup>	۳/۰±۳۳/۵۸ <sup>def</sup>
مالتودکسترین	۱۰	۱۴۰	۰/۰±۴۵۷/۰۰۶ <sup>fg</sup>	۰/۰±۵۶۷/۰۰۶ <sup>gh</sup>	۱/۰±۲۴۰/۰۰۳ <sup>ef</sup>	۳۲/۱±۰/۰ <sup>e</sup>	۷/۰±۳۳/۵۸ <sup>a</sup>
		۱۶۰	۰/۰±۴۳۵/۰۰۵ <sup>h</sup>	۰/۰±۵۳۲/۰۰۸ <sup>j</sup>	۱/۰±۲۲۲/۰۰۵ <sup>g</sup>	۲۸/۰±۶۷/۵۸ <sup>fg</sup>	۴/۰±۶۷/۵۸ <sup>bc</sup>
		۱۸۰	۰/۰±۴۱۳/۰۰۶ <sup>i</sup>	۰/۰±۵۰۳/۰۰۶ <sup>l</sup>	۱/۰±۲۱۷/۰۰۳ <sup>h</sup>	۲۶/۰±۳۳/۵۸ <sup>h</sup>	۳/۰±۶۶/۵۸ <sup>cde</sup>
		۱۴۰	۰/۰±۵۱۶/۰۰۵ <sup>a</sup>	۰/۰±۶۶۶/۰۰۵ <sup>a</sup>	۱/۰±۲۹۱/۰۰۳ <sup>a</sup>	۳۷/۰±۶۷/۵۸ <sup>a</sup>	۷/۱±۳۳/۱۵ <sup>a</sup>
		۱۶۰	۰/۰±۵۰۵/۰۰۵ <sup>b</sup>	۰/۰±۶۴۴/۰۰۴ <sup>b</sup>	۱/۰±۲۷۶/۰۰۶ <sup>b</sup>	۳۴/۰±۳۳/۵۸ <sup>c</sup>	۵/۰±۳۳/۵۸ <sup>b</sup>
		۱۸۰	۰/۰±۴۹۷/۰۰۶ <sup>c</sup>	۰/۰±۶۳۰/۰۰۵ <sup>c</sup>	۱/۰±۲۶۸/۰۰۸ <sup>a</sup>	۳۳/۰±۳۳/۵۸ <sup>c</sup>	۳/۰±۶۷/۵۸ <sup>cde</sup>
مالتودکسترین	۲۰	۱۴۰	۰/۰±۴۹۴/۰۰۵ <sup>c</sup>	۰/۰±۶۳۷/۰۰۴ <sup>c</sup>	۱/۰±۲۸۸/۰۰۸ <sup>a</sup>	۳۶/۰±۳۳/۵۸ <sup>b</sup>	۴/۰±۶۷/۵۸ <sup>bc</sup>
		۱۶۰	۰/۰±۴۷۶/۰۰۵ <sup>e</sup>	۰/۰±۶۰۸/۰۰۸ <sup>e</sup>	۱/۰±۲۷۸/۰۰۳ <sup>ab</sup>	۳۳/۰±۳۳/۵۸ <sup>c</sup>	۳/۰±۳۳/۵۸ <sup>def</sup>
		۱۸۰	۰/۰±۴۶۵/۰۰۵ <sup>f</sup>	۰/۰±۵۶۲/۰۰۸ <sup>e</sup>	۱/۰±۲۵۱/۰۰۲ <sup>g</sup>	۳۲/۰±۳۳/۵۸ <sup>de</sup>	۲/۰±۶۷/۵۸ <sup>efg</sup>
		۱۴۰	۰/۰±۴۷۸/۰۰۳ <sup>de</sup>	۰/۰±۶۰۸/۰۰۳ <sup>e</sup>	۱/۰±۲۷۲/۰۰۳ <sup>a</sup>	۳۴/۰±۳۳/۵۸ <sup>c</sup>	۴/۰±۳۳/۵۸ <sup>bcd</sup>
		۱۶۰	۰/۰±۴۴۹/۰۰۲ <sup>g</sup>	۰/۰±۵۵۳/۰۰۶ <sup>i</sup>	۱/۱±۲۳۲/۰۰۱ <sup>efg</sup>	۳۱/۰±۳۳/۵۸ <sup>e</sup>	۲/۰±۳۳/۵۸ <sup>fg</sup>
		۱۸۰	۰/۰±۴۲۹/۰۰۲ <sup>h</sup>	۰/۰±۵۲۲/۰۰۷ <sup>jk</sup>	۱/۰±۲۱۹/۰۰۲ <sup>g</sup>	۲۸/۰±۳۳/۵۸ <sup>g</sup>	۲/۰±۰۷/۱۲ <sup>g</sup>

مقادیر ارائه شده میانگین ۳ تکرار به همراه انحراف از استاندارد هستند

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ( $P < 0.05$ ) می‌باشند.



شکل ۳- اثر دمای هوای ورودی، غلظت و نوع حامل بر مقدار انحلال‌پذیری پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش خشک شده به روش پاششی

حروف مشابه در ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بین نمونه‌ها می‌باشند.

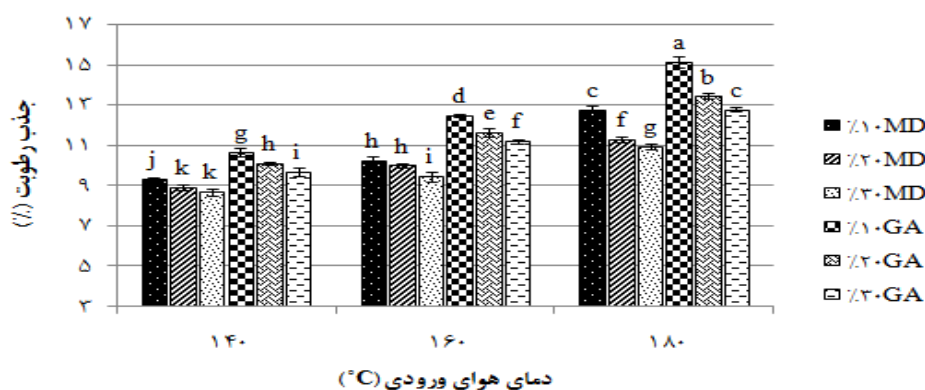
به درون ساختار ذرات می‌شود نسبت داد. نم‌پذیری پودرها نیز به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر نوع، غلظت حامل و دمای هوای فرآیند قرار گرفت (جدول ۱). بدین شکل که پودرهای تولید شده با مالتودکسترین از نم-

تفاوت در نتایج را می‌توان به تفاوت در ماهیت و ترکیب ماده حامل و حلالیت اولیه آن نسبت داد. همچنین، اثر افزایش دمای هوا را می‌توان به افزایش اندازه ذرات و تخلخل بیشتر که در نهایت موجب بهبود نفوذ پذیری آب

### جاذب‌الرطوبه‌بودن

شکل ۴ نشان دهنده اثر نوع و غلظت حامل و همچنین دمای هوای ورودی بر جاذب‌الرطوبگی پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش خشک شده به روش پاششی است. استفاده از نسبت‌های بالاتر حامل موجب کاهش مقدار این شاخص گردید. همچنین افزایش دمای هوای ورودی از ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه در کلیه حامل‌ها موجب افزایش مقدار جاذب‌الرطوبگی نمونه‌ها شد. حامل‌های مالتودکسترین و صمغ عربی با ایجاد پوشش با جاذب-الرطوبگی کم و همچنین چسبندگی کمتر موجب کاهش قابلیت جذب رطوبت از محیط اطراف در نمونه‌ها می‌شوند. اما دمای بالاتر خشک کردن به دلیل کاهش رطوبت پودرها و افزایش اختلاف رطوبتی بین پودر و محیط اطراف موجب افزایش شدت جذب رطوبت در نمونه‌ها می‌گردد. در بین حامل‌های مورد استفاده نیز صمغ عربی به دلیل قابلیت حفظ بیشتر رطوبت در صمغ‌ها نسبت به مشتق نشاسته از جذب رطوبت بالاتری برخوردار بود.

پذیری سریع‌تر و بهتری نسبت به نمونه‌های تولید شده با صمغ عربی برخوردار بودند. همچنین، غلظت‌های بالاتر صمغ عربی بر خلاف مالتودکسترین موجب افزایش شدید زمان نپذیری گردید. تفاوت در نتایج را می‌توان به تفاوت در ماهیت و ترکیب ماده حامل و حلالیت اولیه آن نسبت داد. همچنین، اثر افزایش دمای هوا را می‌توان به افزایش اندازه ذرات و تخلخل بیشتر که در نهایت موجب بهبود نفوذ پذیری آب به درون ساختار ذرات می‌شود نسبت داد. این یافته موافق با نتایج سانتالاکشمی و همکاران (۲۰۱۵) است که افزایش حلالیت و کاهش مدت زمان نپذیری پودر آب‌میوه جامون را تحت تأثیر افزایش دمای هوای ورودی مشاهده کردند. آن‌ها علت این نتیجه را افزایش اندازه و فضاهای بین ذرات و متعاقب آن تسهیل نفوذ رطوبت به ساختار پودرها بیان کردند. همچنین در تحقیقات مشابهی، افزایش غلظت حامل موجب افزایش حلالیت پودرهای عصاره آبی چای کوهی (ندیم و همکاران ۲۰۱۳) و آب انبه (کانو و همکاران ۲۰۰۵) گردید. بدین شکل که حلالیت مالتودکسترین بیشتر از صمغ عربی گزارش شد.



شکل ۴- اثر دمای هوای ورودی، غلظت و نوع حامل بر مقدار جاذب‌الرطوبگی پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش خشک شده به روش پاششی

حروف مشابه در ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بین نمونه‌ها می‌باشند.

۲۰۰۷). رنگ پودرها تحت تاثیر دمای هوای فرآیند، نوع و غلظت حامل قرار می‌گیرد. جدول ۲ اثر شرایط مختلف خشک کردن پاششی بر شاخص‌های رنگی پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش را نشان می‌دهد. در این تحقیق، مقدار روشنایی ( $L^*$ ) نمونه‌ها تحت تاثیر غلظت هر دو نوع حامل و دمای هوای ورودی گرفت. به طور کلی، افزایش در غلظت حامل باعث افزایش در روشنایی نمونه‌ها شد. به طور کلی کمترین مقدار برای  $a^*$  در غلظت‌های بالاتر حامل مشاهده شد، زیرا افزایش در نسبت حامل نمونه‌ها به رقت مواد منجر شده است. با توجه به پارامتر  $b^*$ ، همه نمونه‌ها مقدار مثبت (تمایل به رنگ زرد) نشان دادند. به طور کلی، افزایش دما موجب کاهش مقدار  $a^*$  و افزایش مقدار  $b^*$  شد.

مقدار جاذب‌الرطوبگی پودرها به طور قابل ملاحظه‌ای وابسته به نوع و ترکیب ماده اولیه است. تفاوت چشمگیری بین مقادیر این شاخص برای پودرهای آرمیوه و کنسانتره با ترکیبات غیرچسبنده وجود دارد. این یافته مشابه با تحقیق دیگری بود که در آن افزایش دما موجب افزایش جاذب‌الرطوبگی پودرهای آب میوه جامون (سانتالاکشمی و همکاران ۲۰۱۵) با مقدار جاذب‌الرطوبگی ۲۵/۳۳-۱۷ درصد گردید. همچنین، تانن و همکاران (۲۰۰۸) و موری‌پرا و همکاران (۲۰۰۹) به ترتیب کاهش جاذب‌الرطوبگی پودرهای عصاره تفاله آسیرولا و آکایی را در نتیجه افزایش نسبت حامل مورد استفاده گزارش کردند.

#### ارزیابی رنگ

رنگ یکی از مهمترین شاخص‌های کیفی است که نشان دهنده کیفیت محصول نهایی است (کوئک و همکاران

جدول ۲- تغییرات در شاخص‌های رنگی پودرها تحت تاثیر دمای هوای ورودی، نوع و غلظت حامل

Hue ( $h^*$ )	Chroma ( $C^*$ )	b	a	l	دما ( $^{\circ}C$ )	غلظت حامل (درصد)	نوع حامل
۷۱/۵۷۶۶۲۵۹۴	۲۶/۶۱	۲۵/۲۴۷	۸/۴۱۰	۲۱/۱۸۸	۱۴۰		صمغ عربی
۷۱/۶۶۰۹۶۲۳	۲۷/۵۸	۲۶/۱۸۰	۸/۶۷۸	۲۴/۲۶۹	۱۶۰	۱۰	
۷۱/۰۷۷۷۸۷۳۸	۲۵/۴۷	۲۴/۰۹۵	۸/۲۶۰	۲۵/۴۱۱	۱۸۰		
۷۱/۰۲۵۷۶۸۱۶	۲۹/۶۷	۲۸/۰۵۵	۹/۶۴۶	۲۷/۶۸۰	۱۴۰		
۷۱/۹۱۲۶۸۸۳۴	۲۶/۷۴	۲۵/۴۱۶	۸/۳۰۱	۲۵/۷۰۵	۱۶۰	۲۰	
۷۲/۴۵۳۲۵۴۸۵	۲۶/۴۸	۲۵/۲۴۷	۷/۹۸۳	۲۶/۰۵۶	۱۸۰		
۷۶/۷۱۳۵۷۰۸۷	۳۰/۷۳	۲۹/۹۲۶	۷/۰۶۲	۳۵/۲۱۹	۱۴۰		
۸۲/۵۲۱۶۷۰۰۷	۲۸/۰۶	۲۷/۸۲۱	۳/۶۵۲	۳۶/۵۶۴	۱۶۰	۳۰	
۸۵/۶۶۲۳۶۹۰۰	۲۸/۴۹	۲۸/۴۱۱	۲/۱۵۵	۴۲/۲۹۶	۱۸۰		
۷۹/۲۳۴۸۵۱۳۳	۲۹/۳۹	۲۸/۸۷۵	۵/۴۹۰	۳۲/۶۴۱	۱۴۰		مالتودکسترین
۸۱/۲۴۱۲۷۶۵۲	۲۸/۷۸	۲۸/۴۴۸	۴/۳۸۳	۳۸/۵۳۶	۱۶۰	۱۰	
۸۵/۸۴۴۴۷۳۵۰	۲۴/۹۹	۲۴/۹۲۶	۱/۸۱۱	۳۸/۷۶۶	۱۸۰		
۷۰/۳۶۶۷۵۵۰	۲۶/۸۱	۲۵/۲۱۹	۹/۱۱۱	۲۳/۹۱۳	۱۴۰		
۶۸/۹۹۴۳۶۸۹	۳۰/۱۱	۲۸/۱۱۰	۱۰/۷۹۴	۲۹/۱۷۵	۱۶۰	۲۰	
۷۳/۲۳۲۶۶۶۰۶	۲۵/۳۱	۲۴/۲۳۲	۷/۳۰۱	۲۸/۷۱۱	۱۸۰		
۷۶/۶۰۸۰۱۵۶۷	۳۱/۰۲	۳۰/۱۷۴	۷/۱۸۴	۳۴/۲۷۹	۱۴۰		
۸۳/۲۷۴۳۸۸۸	۲۹/۵۷	۲۹/۳۱۷	۳/۴۶۴	۳۶/۹۴۰	۱۶۰	۳۰	
۸۶/۴۷۷۰۴۰۴۲	۲۷/۴۵	۲۷/۴۰۲	۱/۶۸۷	۴۰/۱۳۷	۱۸۰		

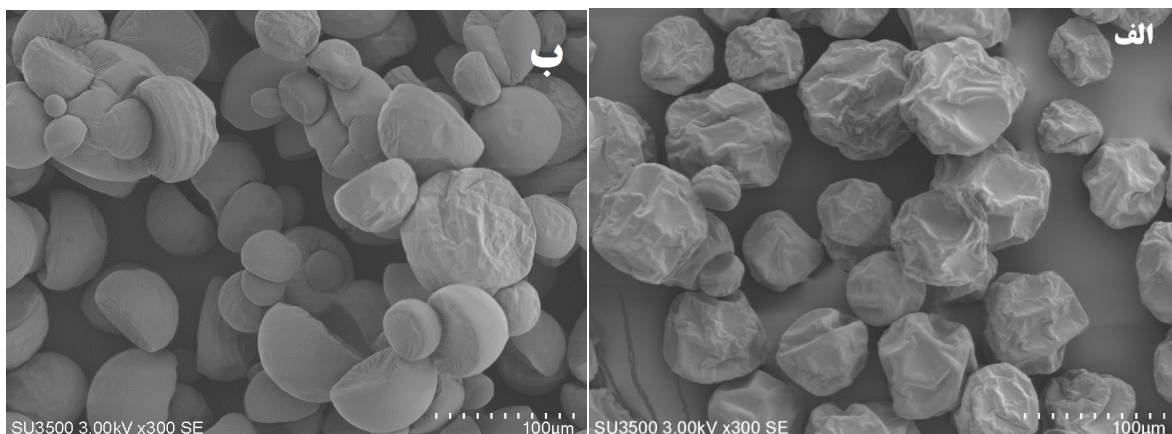
افزایش در رنگ زرد و کاهش روشنایی می‌شود که به دلیل واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی در طی خشک

همچنین مقدار hue در نمونه‌ها با افزایش دمای هوای فرآیند افزایش یافت. دمای هوای خروجی بالا باعث

شکل ۵ (الف و ب) نشان‌دهنده ریزساختار ذرات پودر حاوی عصاره مرزنجوش (انواع اشکال کروی، نامنظم و چروکیده) تولید شده با غلظت‌های ۲۰٪ حامل‌های صمغ عربی و مالتودکسترین در دمای  $160^{\circ}\text{C}$  است. ذرات پودر دارای اندازه‌های نسبتاً یکنواخت، چروکیده، فاقد ترک و شکستگی در جداره مربوط به تیمار تولید شده با صمغ عربی است که به علت تشکیل لایه‌ای از صمغ و کاهش بیشتر سرعت خروج رطوبت نسبت به تیمار مالتودکسترین، چروکیدگی بیشتری در سطح ذرات مشاهده می‌گردد. از سوی دیگر ذرات تولید شده با مالتودکسترین چروکیدگی کمتر ولی ذراتی دارای ترک و شکستگی را از خود نشان می‌دهند.

کردن پاششی می‌باشد (کوئک و همکاران ۲۰۰۷). در تحقیق دیگری، افزایش دما در پودرهای عصاره آبی چای کوهی منجر به کاهش شاخص  $l$ ، افزایش  $b^*$ ، عدم تغییر  $a^*$  و در نهایت تیره‌تر شدن نمونه‌ها گردید (ندیم و همکاران ۲۰۱۳). همچنین، افزایش دمای فرآیند منجر به کاهش رنگ و افزایش روشنایی و شاخص  $hue$  پودرهای آب میوه جامون گردید (سانتالاکشمی و همکاران ۲۰۱۵). اثر دما عمدتاً به دلیل تخریب آنتوسیانین و رنگدانه‌های حساس به حرارت در دماهای بالا است.

#### ریزساختار پودرها با میکروسکوپ الکترونی روبشی

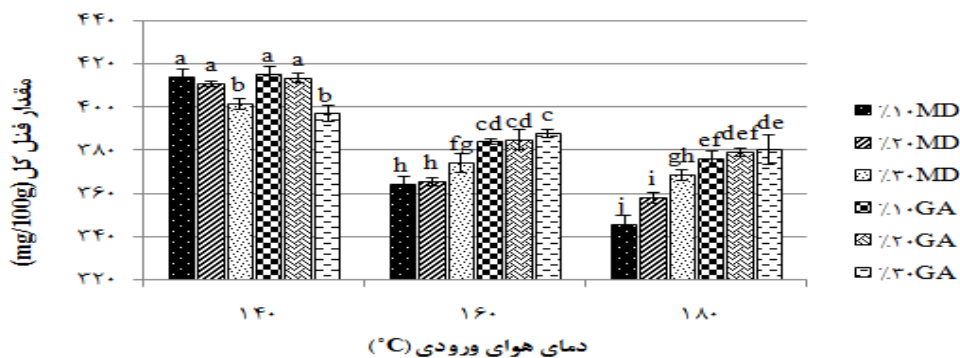


شکل ۵- اثر حامل صمغ عربی (الف) و مالتودکسترین (ب) بر ریزساختار پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش خشک شده در دمای  $160^{\circ}\text{C}$

#### اندازه گیری ترکیبات فنلی کل

همانطور که از شکل ۶ ملاحظه می‌شود، مقدار فنل کل نمونه‌ها با افزایش دمای ورودی در همه غلظت‌های ماده حامل کاهش یافت. نوع ماده حامل نیز تأثیری بر این کاهش نداشت. کاهش فنل کل به دلیل اثر تخریبی دما بر این ترکیبات بود. اما، با افزایش دما از  $140^{\circ}\text{C}$  به بالاتر، با افزایش غلظت حامل میزان فنل کل افزایش یافت. این امر احتمالاً به دلیل اثر محافظتی حامل‌ها در دماهای بالا بر ترکیبات است که باعث افزایش محتوای فنلی کل پودرها گردید.

بسته به نوع حامل مورد استفاده، افزایش سرعت تبخیر رطوبت و تشکیل پوسته، تولید دیواره‌ای با سطح کروی‌تر نموده و دمای بالاتر نیز فرصت کمتری برای چروکیدگی شدن به جداره ذرات می‌دهد (نیدام و لانگریش ۲۰۰۶). اگرچه تولید ذرات با سطوح چروکیده و نامنظم، یک پدیده معمول در خشک کردن پاششی محصولات مختلف است که عمدتاً به دلیل تشکیل سریع پوسته بر سطح قطرات در مراحل اولیه خشک کردن رخ می‌دهد (وانگ و همکاران ۲۰۱۳).



شکل ۶- اثر دمای هوای ورودی، غلظت و نوع حامل بر مقدار فنل کل پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش خشک شده به روش پاششی

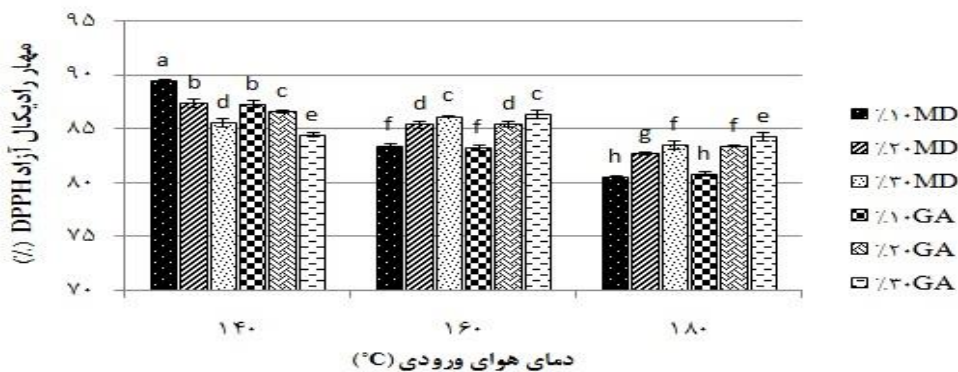
حروف مشابه در ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بین نمونه‌ها می‌باشند.

حرارت هوا ورودی رخ داده است. دلیل اصلی برای این یافته تخریب حرارتی و اکسیداسیون بود.

#### اندازه‌گیری مهار رادیکال‌های آزاد DPPH

شکل ۷، ارتباط بین پارامترهای مورد بررسی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش را نشان می‌دهد.

مطابق با گولا و آداموپولوس (۲۰۰۵) افزایش دمای هوای ورودی به خشک کردن منجر به از دست دادن بیشتر محتوای لیکوپین موجود در پودر گوجه فرنگی شد. به طور مشابه، کوئک و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کردند که کاهش لیکوپین و بتاکاروتن محتوای پودر آب خربزه با خشک‌کن پاششی همزمان با افزایش درجه



شکل ۷- اثر دمای هوای ورودی، غلظت و نوع حامل بر فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH پودرهای حاوی عصاره مرزنجوش خشک شده به روش پاششی

حروف مشابه در ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بین نمونه‌ها می‌باشند.

آنتی‌اکسیدانی است. همچنین مشابه یافته‌های حاصل از ارزیابی مقدار فنل کل، غلظت‌های بالاتر حامل به دلیل اثر حفاظتی بر فنل‌ها در دماهای بالاتر فرآیند موجب فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری در نمونه‌ها شدند. نتایج مشابهی در پودر خشک شده آب میوه گاک توسط خا و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده شد. توضیح احتمالی

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، پودرهای تولید شده در دمای ۱۴°C از بالاترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی برخوردارند. اما در دماهای بالای فرآیند مشابه نتایج حاصل از ارزیابی فنل کل، از فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH کاسته شد. این یافته نشان دهنده ارتباط مستقیم بین مقدار فنل حفظ شده در ساختار ذرات با فعالیت

حامل‌ها احتمالاً به دلیل اثر افزایش ویسکوزیته منجر به کاهش بازده تولید پودر شد. کلیه آزمون‌های ارزیابی مقدار دانسیته توده و ضربه، انحلال‌پذیری و نم‌پذیری، شاخص‌های جریان‌پذیری پودرهای تولید شده، جاذب-الرطوبگی و ویژگی‌های رنگی نمونه‌ها تحت تاثیر نوع، غلظت حامل و دمای هوای فرآیند قرا گرفتند. همچنین، افزایش دمای هوای ورودی با افزایش تخریب پلی‌فنول‌ها، موجب کاهش مقدار فنول باقی‌مانده در پودرهای تولید شده و همچنین کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گردید. اما، افزایش غلظت حامل در دماهای بالاتر فرآیند نقش حفاظتی در حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی-اکسیدانی از خود نشان داد.

برای کاهش مهار رادیکال آزاد در دماهای بالاتر به دلیل اثر منفی بر ساختار ترکیبات فنلی است که باعث شکستن آنها یا سنتز به اشکال مختلف باشد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثر شرایط مختلف فرآیند خشک کردن پاششی (دمای هوای ورودی و غلظت حامل‌های مالتودکسترین و صمغ عربی) هر کدام در سه سطح بر ویژگی‌های پودر عصاره مرزنجوش بررسی گردید. افزایش دما از طریق افزایش سرعت خشک شدن و ضریب انتقال هم زمان جرم و انرژی با کاهش تولید ذرات نیمه مرطوب و کاهش احتمال برخورد و چسبیدن این ذرات به یکدیگر و یا به جداره خشک کن موجب افزایش راندمان تولید پودر گردید. اگرچه، افزایش غلظت

### منابع مورد استفاده

- Abadio FDB, Domingues, AM Borges SV and Oliveira VM, 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananascomosus*) juice – effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering* 64: 285-287.
- Bazaria B and Kumar P, 2016. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bioscience* 14: 21-7.
- Bell, L. N, 2001. Stability testing of nutraceuticals and functionalfoods. In: Wildman R. E. C. (eds.), *Handbook of nutraceuticals and functional foods*. CRC Press, New York. 501-516.
- Bennick, A, 2002. Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine* 13: 184-196.
- Bhandari BR, Datta N and Howes T, 1997. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology* 15: 671-684.
- Brand-Williams W, 1995. Cuvelier ME, Berset CL. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology* 28:25-30.
- Cai, YZ and Corke H, 2000. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. *Journal of Food Science* 65: 1248–1252.
- Cano-Chauca M, Stringheta PC, Ramos AM and Cal-Vidal J, 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6:420-428
- European Pharmacopeia, 2008. European Directorate for the Quality of Medicines-Council of Europe, 6th ed.
- Frascareli EC, Silva VM, Tonon RV and Hubinger MD, 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and bioproducts processing* 90:413-24.
- Fuchs M, Turchiuli C, Bohin M, Cuvelier ME, Ordonnaud C, Peyrat-Maillard MN and Dumoulin E, 2006. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 75:27-35.

- Goula AM and Adamopoulos KG, 2010. A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11:342-351.
- Goula AM, Konstantinos G and Adamopoulos G, 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on powder recovery. *Journal of Food Engineering* 66:25-34.
- Igual M, Ramires S, Mosquera LH and Martínez-Navarrete N, 2014. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense L.*) pulp. *Powder Technology* 256: 233-8.
- Jafari SM, Assadpoor E, He Y and Bhandari B, 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Drying Technology* 26:816-35.
- Jinapong N, Suphantharika M, and Jamnong P, 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 84:194-205.
- Kha T, Nguyen MH and Roach PD, 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering* 98:385-92.
- McDonald S, Prenzler PD, Autolovich M and Robards K, 2001. Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry* 73: 73- 84.
- Moreira GE, Costa MG, de Souza AC, de Brito ES, de Medeiros MD and de Azeredo HM, 2009. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT-Food Science and Technology* 42: 641-5.
- Mujumdar, AS, 2004. Research and Development in Drying: Recent Trends and Future Prospects. *Drying Technology* 22: 1 -26.
- Nijdam JJ and Langrish TA, 2006. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *Journal of Food Engineering* 77: 919-25.
- Petr J, Vítková K, Ranc V, Znaležiona J, Maier V, Knob R and Ševčík J, 2008. Determination of some phenolic acids in *Majorana hortensis* by capillary electrophoresis with online electrokinetic preconcentration. *Journal of agricultural and food chemistry* 13; 3940-4.
- Quek SY, Chok NK and Swedlund P, 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing* 46:386-392.
- Rau O, Wurglics M, Dingermann T, Abdel-Tawab M and Schubert-Zsilavec M, 2006. Screening of herbal extracts for activation of the human peroxisome proliferator-activated receptor. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences* 61:952–956.
- 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 :31-8.
- Santhalakshmy S, Bosco SJ, 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.
- Swapnali V, Bhosale R and Singhal RS, 2006. Microencapsulation of Cinnamon Oleoresin by Spray Drying Using Different Wall Materials, *Drying Technology* 24: 983–992.
- Tonon RV, Barbet C and Hubinger MD 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acid (*EuterpeOleraceae Mart*) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering* 88:411-418.
- Vidović SS, Vladić JZ, Vaštag ŽG, Zeković ZP and Popović LM, 2014. Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja Montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. *Powder Technology* 258: 209–215.
- Wang W, Jiang Y and Zhou W, 2013. Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. *Journal of Food Engineering* 119: 724-30.

## Effect of inlet air temperature and carrier type and concentration on physicochemical and antioxidant properties of microencapsulated Marjoram extract by spray drying

Z Akbarbaglu<sup>1</sup>, SH Peighambardoust<sup>\*2</sup>, A Oladghaffari<sup>3</sup> and Kh Sarabandi<sup>4</sup>

Received: February 18, 2017

Accepted: December 4, 2017

<sup>1</sup>MSc Graduated, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Academic Staff of Food Research Group, Food and Agriculture Research Department, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran

<sup>4</sup>PhD Student, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

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

### Abstract

The aim of this work is to investigate the inlet air temperature (140, 160 and 180 °C) and carrier type (maltodextrin vs. Arabic gum) as well as carrier concentration (10, 20 and 30% W/V) on the physicochemical and antioxidant properties of spray dried sweet Marjoram extract. Samples were evaluated for moisture content, water activity, bulk and tapped density, solubility, wettability, hygroscopicity, flowability behavior (Hausner ratio and angle of repose), color indices, microstructure, total phenolic content and DPPH free radical scavenging activity. Powder production yield in the spray drier was also determined. The results showed that powder production yield (21.47-44.62%), moisture content (1.18-2.22%) and water activity (0.106 to 0.206) of powders were significantly affected by the carrier type, concentration and the inlet air temperature. Bulk and tapped density and flowability indices (higher flowability) of powders decreased with an increase in carrier ratio and inlet air temperature. Hygroscopicity and solubility was positively affected by inlet air temperature and negatively affected by increasing carrier concentration. Increasing inlet air temperature and carrier concentration led to deterioration of powder color. Total phenolic content and radical scavenging capacity of spray dried powders were decreased by increasing in air temperature. Increasing in carrier concentration led to an increase in total phenolic content. Microstructure of samples showed that the powders produced with Arabic gum had similar size and higher shrinkage than those produced with maltodextrin. However, the latter had smoother surface.

**Keywords:** Encapsulation, Spray-drying, Sweet Marjoram, phenolic compounds, Physicochemical properties