



## خشک کردن پاششی عصاره استویا: ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، عملکردی و میکروساختار

شیما کاوه<sup>۱</sup>، علیرضا صادقی ماهونک<sup>۲\*</sup>، خشایار سرابندی<sup>۳</sup>، زینب گرائیلی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۲۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۱/۱۳، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۷)

### چکیده

در این پژوهش اثر نوع ماده دیواره صمغ عربی، مالتودکسترین و کنسانتره پروتئین آب پنیر، در غلظت‌های مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ وزنی/حجمی، بر بازده تولید پودر، مقدار رطوبت، فعالیت آبی، نم‌پذیری، حلالیت، قابلیت جذب رطوبت، چگالی توده، ضربه و واقعی، شاخص‌های رنگی و جریان‌پذیری پودرهای استویا بررسی شد. هم‌چنین ریزساختار پودرهای خشک شده به روش پاششی با میکروسکوپ الکترونی ارزیابی شد. نتایج نشان دادند که افزایش نسبت مالتودکسترین منجر به افزایش بازده تولید پودر شد. با افزایش غلظت حامل‌ها مقدار فعالیت آبی، چگالی توده، ضربه و واقعی نمونه‌ها کاهش یافت، این ویژگی‌ها به ترتیب در محدوده ۰/۰۸-۰/۳۳، ۰/۳۴-۰/۵۹ g/mL، ۰/۳۹-۰/۶۴ g/mL، ۱/۲۸-۱/۶۱ g/mL متغیر بودند. کم‌ترین شاخص‌های جریان‌پذیری، نسبت هاسنر، شاخص تراکم‌پذیری و زاویه ریپوز، با نمونه WPC ۱۰، حاصل شد. بیش‌ترین میزان رطوبت ۵/۰۳٪، زمان نم‌پذیری ۵۱/۰۸ s، حلالیت ۹۴/۰۸٪ و جذب رطوبت ۳۰/۶۶٪ به ترتیب مربوط به نمونه‌های WPC ۱۰، WPC ۳۰، MD ۱۰، GA ۱۰ بود. ارزیابی ریزساختار نمونه‌ها نشان داد که نمونه‌های حاوی WPC، دارای ذراتی با اندازه‌ی بزرگ‌تر و سطوحی با چروکیدگی عمیق‌تر بودند.

واژه‌های کلیدی: استویا، خشک کن پاششی، ریزساختار، ماده دیواره، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی.

## ۱. مقدمه

مالتودکسترین، پروتئین‌ها و لیپیدها استفاده می‌شود. صمغ عربی به دلیل حلالیت بالا، گرانروی پایین و ویژگی‌های امولسیون-کنندگی مناسب از معمول‌ترین حامل‌های مورد استفاده در فرایند خشک کردن پاششی می‌باشد [۱۰]. از ویژگی‌های مالتودکسترین می‌توان به قیمت پایین، طعم و آرومای مطبوع، گرانروی کم در غلظت بالای ذرات جامد و حفاظت مناسب در برابر اکسیداسیون اشاره نمود [۱۱]. پروتئین‌های آب‌پنیر از فرآورده‌های جانبی صنایع لبنی هستند، این ترکیبات به دلیل ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی خوب و قابلیت تشکیل فیلم با چسبندگی و نم‌پذیری کم، در غلظت‌های کم موجب افزایش بازده تولید محصول می‌شوند. در تحقیقات مختلفی، مکانیسم عملکرد و کارایی پروتئین‌های آب‌پنیر در افزایش بازده تولید و ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی پودر تولیدی به روش پاششی بررسی شده است مانند: سس سویا [۱۲] و پودر عسل [۱۳]، نتایج این تحقیقات حاکی از اثر مثبت استفاده از پروتئین‌های آب‌پنیر در کاهش چسبندگی و هم‌چنین افزایش بازده تولید پودر حاصل بود. از کاربرد مالتودکسترین در خشک کردن پاششی می‌توان به تحقیقات سرابندی و همکاران [۱۴] و سانتالاکشمی و همکاران [۱۵] که به ترتیب خشک کردن شیر خرمای و آب‌میوه جامان را بررسی کردند، اشاره کرد. سابتیل و همکاران [۱۶] و راسکون و همکاران [۱۷] نیز به ترتیب تاثیر استفاده از صمغ عربی را در خشک کردن کازئین آبکافت شده و آب‌پاپریکا به روش پاششی مورد مطالعه قرار دادند. به‌طور کلی تحقیقات زیادی از فرایند خشک کردن پاششی در خشک کردن آب‌میوه‌ها و عصاره‌های گیاهی استفاده کرده‌اند مانند: آب‌آلبالو [۱۸]، روغن بذر کتان [۱۹]، روغن رزماری [۲۰]، روغن ماهی [۲۱]، روغن چیا [۲۲]، آب‌پرتقال [۲۳]، انبه [۲۴]. با در نظر گرفتن مزایای خشک کردن پاششی و قابلیت استتویا در تولید محصولات کم‌کالری، هدف از این پژوهش ارزیابی اثر نوع و نسبت‌های وزنی ماده دیواره مالتودکسترین، صمغ عربی و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر بر بازده تولید، ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، عملکردی و ریزساختار پودر عصاره استتویا خشک شده به روش پاششی بود.

شیوع دیابت نوع ۲ با افزایش مصرف موادغذایی با محتوی بالای قند و چربی، به‌طور جهانی افزایش یافته است، بنابراین امروزه تمایل به موادغذایی فراوری شده با شیرین‌کننده‌های کم‌کالری افزایش یافته است [۱]. در سال‌های اخیر صنعت موادغذایی توجه زیادی به عصاره‌های گیاهی حاصل از استتویا، به‌عنوان جایگزین قند در فرمولاسیون محصولات نشان داده است [۲]. اخیراً، عصاره و برگ استتویا به‌عنوان یک مکمل خوراکی توسط سازمان FDA، مورد تایید قرار گرفته است [۳]. استتویا یک شیرین‌کننده طبیعی است که ۲۵۰-۳۰۰ برابر از ساکارز شیرین‌تر است، شیرینی زیاد آن به دلیل حضور تعداد زیادی گلیکوزید مانند استتویوزید است، که در روده جذب نمی‌شوند، برخلاف شیرین‌کننده‌های مصنوعی، استتویا نه تنها منجر به بروز بیماری نمی‌شود بلکه اثرات مفیدی مانند ویژگی ضددیابتی نیز دارد [۴]، بنابراین کالری بسیار کم آن، استتویا را به جایگزین مناسب ترکیبات شیرین‌کننده برای افرادی که از دیابت رنج می‌برند تبدیل کرده است [۵]. عصاره استتویا به دلیل داشتن ترکیبات فنلی حساس و ناپایدار به شرایط محیطی ویژگی‌های مفید خود را از دست می‌دهد، بنابراین برای افزایش پایداری بیولوژیکی و شیمیایی آن و هم‌چنین سهولت استفاده به‌عنوان افزودنی در موادغذایی و حمل و نقل آسان‌تر می‌توان از خشک کردن پاششی برای تبدیل آن به پودر استفاده کرد [۶]. خشک کردن پاششی روشی رایج برای پوشش‌دهی ترکیبات حساس با استفاده از حامل‌ها می‌باشد که به‌عنوان ماده دیواره جهت حفاظت آن‌ها در برابر عوامل محیطی و اکسند عمل می‌کنند [۷]. در این روش خوراک مایع در جریان هوای داغ پاشیده می‌شود و به‌صورت مداوم منجر به تولید پودر با فعالیت آبی کم می‌شود، این روش به دلیل زمان کوتاه برای مواد حساس به حرارت مانند محصولات لبنی، عصاره‌های گیاهی و آب‌میوه‌ها مناسب می‌باشد [۸]. از مزیت‌های خشک کردن پاششی نسبت به سایر روش‌های خشک کردن می‌توان به هزینه پایین، پایداری بالای فرآورده نهایی، امکان تولید پیوسته و بازده بالای فرایند اشاره کرد [۹]. در فرایند خشک کردن پاششی از حامل‌های گوناگونی مانند صمغ عربی، نشاسته‌ها و مشتقات آن‌ها مانند

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. مواد

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 min قبل از شروع خشک کردن تا رسیدن دمای خشک‌کن به میزان ثابت، به‌عنوان خوراک به دستگاه داده شد.

صمغ عربی و WPC از شرکت مرک آلمان و مالتودکسترین، از پوران پودر سپاهان، اصفهان و سایر مواد شیمیایی از شرکت سیگما آمریکا تهیه شدند.

### ۲.۲. آماده‌سازی نمونه

برگ‌های استویا از گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه گردید. برگ‌ها در سایه خشک شدند و پس از آسیاب شدن، به منظور یکنواخت‌سازی ذرات از الک با مش ۴۰ سرنده شدند. سپس نمونه‌ها تا زمان عصاره‌گیری در دمای یخچال نگه‌داری شدند.

### ۳.۲. تهیه عصاره استویا

عصاره‌گیری در نسبت ۵ به ۱۰۰ پودر استویا به آب مقطر انجام شد، مخلوط حاصل به مدت ۳۰ min روی همزن مغناطیسی همزده شد. سپس عصاره‌گیری در دمای ۷۵ °C با بن‌ماری و به مدت ۴۰ min انجام شد [۲۵].

### ۴.۲. فرایند خشک کردن پاششی

در این تحقیق از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس پایلوت ساخت شرکت آذر مخزن، ایران، استفاده گردید. محفظه خشک‌کن به صورت استوانه‌ای با قسمت تحتانی مخروطی شکل با قطر قسمت استوانه‌ای ۱/۵ m و ارتفاع کل محفظه ۳ m بود. از هوای ورودی با دمای ۱۲۰ °C به صورت هم‌جهت با خوراک با دمای ۷۰°C برای خشک کردن استفاده شد. از صمغ عربی، مالتودکسترین و WPC به‌عنوان حامل، در غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰٪ وزنی/حجمی عصاره، به ترتیب ۱۰GA، ۲۰GA، ۳۰GA، ۱۰MD، ۲۰MD، ۳۰MD، ۱۰WPC، ۲۰WPC و ۳۰WPC برای تهیه خوراک استفاده شد. به این صورت که هر یک از حامل‌ها به‌طور جداگانه در آب مقطر در دمای محیط با استفاده از همزن مغناطیسی حل گردید و سپس عصاره استویا به آن اضافه شد بطوری‌که برای تمام تیمارها، محلول خوراک با درجه بریکس ۲۵ تهیه گردید. خوراک‌های تهیه شده به‌طور هم‌جهت با هوای ورودی به دستگاه پودر شدند. پودر حاصل از خروجی اصلی تا

### ۵.۲. بازده تولید پودر

بازده تولید پودر، از شاخص‌های مهم در فرایند خشک کردن پاششی می‌باشد که با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید [۲۶]. در این پژوهش مقدار پودر جمع‌آوری شده در مخزن شیشه‌ای انتهایی دستگاه به‌عنوان محصول اصلی در نظر گرفته شد.

$$(1) \quad \text{جرم کل ماده جامد موجود در خوراک ورودی} \times 100 = \frac{\text{وزن پودر حاصل بر حسب ماده خشک}}{\text{بازده تولید پودر}} (\%)$$

### ۶.۲. مقدار رطوبت و فعالیت آبی

حدود ۲ g پودر در یک پتری‌دیش به مدت ۲-۳ h در یک آون در دمای ۱۰۵±۲ °C قرار داده شد، در نهایت در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید، فرایند خشک شدن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. مقدار رطوبت از طریق معادله (۲) محاسبه گردید [۲۷].

$$(2) \quad \text{مقدار رطوبت} (\%) = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

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

فعالیت آبی پودرهای استویا نیز با دستگاه سنجش فعالیت آبی شرکت Novasina، ساخت کشور سوئیس، تعیین شد. دستگاه ۱ h قبل از خواندن فعالیت آبی نمونه‌ها، جهت کالیبراسیون روشن گردید. بعد از کالیبراسیون، محفظه دستگاه تا محل تعیین شده (دو سوم حجم ظرف) پر، سپس فعالیت آبی نمونه‌ها در دمای محیط ۲۵ ± ۰/۵ °C اندازه‌گیری شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار و میانگین آن‌ها گزارش گردید.

## ۷.۲. چگالی توده، ضربه<sup>۱</sup> و واقعی

چگالی توده با افزودن تدریجی ۲ g پودر استویا به استوانه مدرج با حجم ۱۰ ml و با درجه‌بندی ۰/۱ ml و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، به صورت g/ml، محاسبه گردید، سپس با استفاده از دانسیتومتر ضربه‌ای، ضربات مداومی به‌طور میانگین ۴۰۰ ضربه، به استوانه وارد تا زمانی که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود، در نهایت نسبت جرم پودر به حجم حاصل پس از ضربه محاسبه و چگالی توده حاصل از ضربه به دست آمد [۲۷]. چگالی واقعی با روش جابه جایی مایع و با افزودن ۱ g نمونه به پیکنومتر حاوی تولوئن و با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد [۲۸]:

$$(3) \quad \text{چگالی واقعی} = \frac{\text{وزن نمونه}}{\text{تغییر حجم تولوئن}}$$

## ۸.۲. جریان پذیری (زاویه استاتیک ریپوز<sup>۲</sup>، شاخص تراکم-پذیری<sup>۳</sup> و نسبت هاسنر<sup>۴</sup>)

مقدار ۱۰ g پودر استویا با استفاده از ترازوی دیجیتال شرکت ساتوریوس، مدل BM150، ساخت کشور آلمان، توزین و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خروجی ۱۲ ml 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 [۲۹].

پیوستگی پودرها با نسبت هاسنر و بر طبق معادله (۴) قابل محاسبه می‌باشد. مقادیر رابطه تجربی بین ویژگی‌های جریان‌پذیری پودرها و نتایج حاصل از دو آزمون زاویه ریپوز و نسبت هاسنر بر اساس تحقیقات جیناپونگ و همکاران [۲۹]، به ترتیب از ۲۵-۳۰ و ۱-۱/۱۱ برای جریان‌پذیری عالی و بیش از ۶۶ و ۱/۶ برای جریان‌پذیری بسیار بد یا عدم جریان‌پذیری آزاد بیان شده است.

$$(4) \quad \text{نسبت هاسنر} = \frac{\text{چگالی حاصل از ضربه}}{\text{چگالی توده}}$$

مقدار شاخص تراکم‌پذیری را می‌توان از معادله (۵) و با استفاده

از نسبت هاسنر محاسبه شد [۲۷].

$$(5) \quad 1 - \left( \frac{1}{\text{نسبت هاسنر}} \right) = \text{شاخص تراکم پذیری}$$

## ۹.۲. اندازه‌گیری شاخص‌های انحلال‌پذیری و نم‌پذیری

سنجش انحلال‌پذیری پودرهای استویا با استفاده از روش کانو و همکاران [۳۰]، با کمی اصلاحات انجام گرفت. بدین صورت که، ۱ g پودر به دقت به ۱۰۰ ml آب مقطر تحت شرایط هم‌زدن با یک همزن مغناطیسی در ۷۰۰ rpm به مدت ۴ min اضافه گردید. محلول حاصل در ۳۰۰×g برای ۴ min سانتیفریوژ شد. حجم ۲۵ ml از محلول فوقانی جدا و به یک پتری دیش که از قبل وزن گردیده منتقل و در آن ۱۰۵°C به مدت ۵ h خشک گردید. وزن ماده جامد خشک شده نسبت به پودر اولیه بر حسب %، جهت تعیین مقدار انحلال‌پذیری در آب به کار رفت.

برای تعیین نم‌پذیری پودرها نیز از روش فوجس و همکاران [۳۱]، با کمی اصلاحات استفاده شد. ۰/۲ g پودر در دمای محیط بر سطح ۱۰۰ ml آب مقطر بدون هم‌زدن ریخته شد. زمان صرف شده برای ته‌نشست ذرات از سطح آب به‌طوری‌که هیچ ذره‌ای بر سطح نمانده باشد برای محاسبه شاخص نم‌پذیری ثبت گردید.

## ۱۰.۲. میزان جذب رطوبت

قابلیت جذب رطوبت پودرها به شکل، g آب جذب شده توسط ۱۰۰ g پودر طی ۷ روز نگهداری در دمای ۳۰°C و رطوبت نسبی ۷۵٪ RH در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید سدیم تعیین گردید [۱۵].

## ۱۱.۲. رنگ سنجی

شاخص‌های رنگی پودرهای تولیدی با استفاده از شاخص‌های L\*, a\* و b\*، با استفاده از دستگاه هانتر لپ مدل CAM-system 500، ساخت کشور انگلستان، ارزیابی شد. مقادیر Hue و Chroma به ترتیب با استفاده از معادله‌های ۶ و ۷ محاسبه شدند.

$$(6) \quad \text{Hue} = \tan^{-1}(b^* / a^*)$$

$$(7) \quad \text{Chroma} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

1. Tapped density
2. Repose angle
3. Compressibility
4. Hausner ratio

اثر نوع و غلظت‌های مختلف ماده دیواره را بر بازده تولید پودر نشان می‌دهد. در مورد تیمارهای حاوی مالتودکستریز، با افزایش میزان حامل، بازده تولید پودر افزایش یافت و در نسبت‌های یکسان، در مقایسه با دیگر حامل‌ها دارای بازده تولید پودر بیشتری بودند، این امر به دلیل ماهیت مالتودکستریز است که در مقایسه با صمغ عربی و WPC، گرانروی خوراک را به میزان کم‌تری افزایش داده است، هم‌چنین این امر می‌تواند ناشی از عملکرد مالتودکستریز باشد که به‌عنوان حامل باعث افزایش دمای انتقال شیشه‌ای خوراک گشته و با ایجاد لایه‌ای چسبنده در اطراف ذرات، منجر به کاهش چسبندگی آن‌ها شده و از این طریق بازده تولید پودر افزایش یافته است. این یافته مطابق با یافته‌های سرابندی و صادقی ماهونک [۱۴] و گولا و آدامپولوس [۲۳] می‌باشد که به ترتیب اثر میزان مالتودکستریز را بر تولید پودر شیرهای خرما و کنسانتره آب پرتقال بررسی کردند. از طرف دیگر افزایش غلظت صمغ عربی از ۲۰ به ۳۰٪، باعث کاهش بازده تولید گردید چرا که افزایش غلظت صمغ عربی، بیش از ۲۰٪، موجب افزایش گرانروی و چسبندگی خوراک شده در نتیجه ذرات هنگام خروج از اتمایزر بزرگ‌تر هستند، که خشک شدن آن‌ها دشوار بوده و منجر به چسبیدن ذرات به جداری داخلی خشک کن می‌گردد و در نهایت بازده تولید پودر کاهش می‌یابد. در نمونه‌های حاوی WPC، بیش‌ترین بازده تولید مربوط

## ۱۲.۲. میکروسکوپ الکترونی روبشی

ساختار ذرات پودر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Pemteron PS-230، ساخت کره جنوبی مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها به‌طور مجزا با استفاده از نوار چسب‌های دو سویه بر صفحه‌های آلومینیومی قرار گرفتند. سپس عمل روکش‌دهی ذرات با استفاده از طلا انجام شد. در نهایت هر نمونه پوشش دهی شده به میکروسکوپ منتقل و مشاهده ساختار سطحی ذرات صورت گرفت [۱۵].

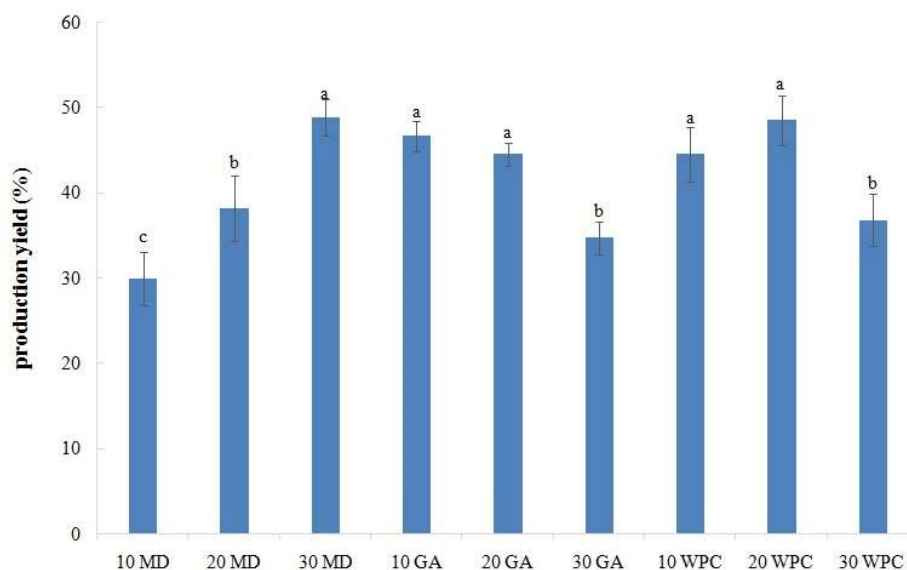
## ۱۳.۲. آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS ver.16 انجام گرفت، هر یک از نمونه‌ها در سه تکرار تهیه و آزمون‌های مربوطه در مورد آن‌ها انجام گرفت. میانگین تیمارها با آزمون توکی در سطح معنی داری ۰/۰۵ (P<۰/۰۵) مورد مقایسه قرار گرفت. نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم و گزارش شدند.

## ۳. نتایج و بحث

### ۱.۳. بازده تولید پودر

بازده تولید پودر در فرایند خشک کردن پاششی عامل اصلی تعیین کننده، اقتصادی و موفق بودن فرایند می‌باشد. شکل (۱)،



شکل (۱) اثر نوع و غلظت ماده دیواره بر بازده تولید پودرهای استویا.

Fig. 1. The effect of type and concentration of wall material on the production yield of stevia powders.

نهایی کاهش می‌یابد [۱۸]. در تمامی غلظت‌ها، پودرهای حاوی مالتودکسترین نسبت به صمغ عربی دارای میزان رطوبت بیش‌تری بودند، این امر عمدتاً به این دلیل است که استفاده از مالتودکسترین در مقایسه با صمغ عربی ساختاری چسبنده را ایجاد می‌کند که منجر به خروج کندتر آب در طول فرایند خشک کردن می‌گردد [۳۲]. در تمامی غلظت‌ها، استفاده از WPC در مقایسه با صمغ عربی پودرهایی با میزان بیش‌تر رطوبت تولید شدند که این امر به دلیل قابلیت تشکیل سریع فیلم و ظرفیت نگهداری بالای آب پروتئین‌ها می‌باشد [۳۲]. این نتایج در تطابق با یافته‌های سرابندی و همکاران [۱۸]، می‌باشد که اثر نوع و ترکیب ماده دیواره را بر خشک کردن پاششی آب آلبالو بررسی کردند، می‌باشد. اما وانگ و همکاران [۱۲]، با افزایش میزان مالتودکسترین تفاوت معنی‌داری در میزان رطوبت پودرهای سس سویا خشک شده به روش پاششی مشاهده نکردند، این امر حاکی از این است که میزان رطوبت پودرهای حاصل به نوع ماده اولیه و ترکیب حامل مورد استفاده بستگی دارد.

### ۳.۳. فعالیت آبی

فعالیت آبی، میزان آب قابل دسترس در یک سیستم غذایی را نشان می‌دهد و عامل وقوع واکنش‌های بیوشیمیایی می‌باشد که با افزایش آن واکنش‌های بیوشیمیایی تشدید می‌گردند و کاهش ماندگاری محصول را در پی دارد [۳۳]. همان‌طور که در

به نمونه WPC ۱۰ و WPC ۲۰ بود. این امر می‌تواند به دلیل حرکت پروتئین‌ها به سطح ذرات باشد که با تشکیل فیلمی غنی از پروتئین باعث کاهش چسبندگی ذرات به یکدیگر و به محفظه خشک‌کن شده و از این طریق بازده تولید افزایش می‌یابد اگرچه افزایش بیش از ۲۰٪ WPC تاثیر مثبتی بر بازده تولید نداشت. سرابندی و همکاران [۱۸] و شی و همکاران [۱۳]، نیز به ترتیب با خشک کردن پاششی کنسانتره آب آلبالو و عسل گزارش کردند که با استفاده از حامل پروتئینی تا نسبتی مشخص، بازده تولید پودر افزایش می‌یابد اما افزایش بیش‌تر اثری منفی بر میزان بازده تولید پودر دارد.

### ۲.۳. مقدار رطوبت

جدول (۱)، مقدار رطوبت پودرهای استویا را با توجه به نوع و غلظت ماده دیواره نشان می‌دهد. مقدار رطوبت نمونه‌ها بین ۵/۰۳-۲/۶۲٪ متغیر بود. نتایج نشان دادند که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان رطوبت به ترتیب مربوط به نمونه‌های WPC ۱۰ و ۳۰ صمغ عربی بود و با افزایش نسبت حامل‌های صمغ عربی و WPC به‌طور قابل ملاحظه‌ای از مقدار رطوبت پودرها کاسته شد ( $p < 0.05$ ). افزایش میزان مالتودکسترین از ۲۰٪ به ۳۰٪ نیز منجر به کاهش مقدار رطوبت پودرها شد. دلیل این امر این است که با افزایش غلظت حامل و کاهش نسبت آب آزاد به حامل، مقدار آب موجود برای تبخیر کاهش یافته، در نتیجه مقدار رطوبت پودر

جدول (۱) اثر نوع و غلظت ماده‌ی دیواره بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پودر استویا

Table 1 The effect of type and concentration of wall material on the physicochemical properties of stevia powders

	نم پذیری Wettability (s)	رطوبت Moisture (%)	جاذب الرطوبگی Hygroscopicity (%)	چگالی ضربه Tapped density (g/mL)	چگالی واقعی True density (g/mL)	چگالی توده Bulk density (g/mL)
10MD	3.10±1.41e	4.46±0.13b	27.29±1.65b	0.64±0.01a	1.61±0.01a	0.52±0.009a
20MD	5.03±1.66e	4.17±0.12b	19.98±1.53c	0.52±0.02c	1.56±0.01b	0.47±0.014b
30MD	4.67±0.86e	3.38±0.13d	16.56±0.93d	0.45±0.01d	1.44±0.01d	0.42±0.004c
10GA	15.39±1.04d	3.81±0.16c	30.66±2.78a	0.57±0.003b	1.55±0.01b	0.46±0.006b
20GA	23.25±2.06c	3.27±0.08d	26.79±1.06b	0.47±0.02d	1.46±0.02c	0.42±0.01c
30GA	27.52±1.26b	2.62±0.19e	20.75±1.30c	0.42±0.01e	1.42±0.01de	0.39±0.01d
10WPC	15.35±1.99d	5.03±0.33a	17.92±1.93cd	0.53±0.01c	1.43±0.005d	0.41±0.004c
20WPC	25.07±2.61bc	4.43±0.22b	14.07±0.31ef	0.46±0.01d	1.40±0.01e	0.39±0.005d
30WPC	51.08±6.56a	3.82±0.04c	11.80±2.33f	0.39±0.01f	1.28±0.01f	0.34±0.01e

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان از عدم تفاوت معنی‌دار در سطح  $p < 0.05$  می‌باشد.

Different letters in the same column indicate significant difference among samples  $P < 0.05$

پودرهای تولیدی کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش اندازه ذرات، فضای خالی بین ذرات پودر افزایش می‌یابد که عامل دیگری بر کاهش چگالی می‌باشد. در بین پودرهای تولیدی کم‌ترین میزان چگالی مربوط به پودر WPC ۳۰ بود، که این امر به دلیل قابلیت تشکیل فیلم پروتئین‌ها می‌باشد که با به دام اندازی هوا منجر به کاهش چگالی می‌گردد. این یافته‌ها مشابه نتایج تحقیقات شی و همکاران [۱۳] و فضائیلی و همکاران [۳۶] می‌باشد که به ترتیب خشک کردن پاششی عسل و توت سیاه را بررسی کردند.

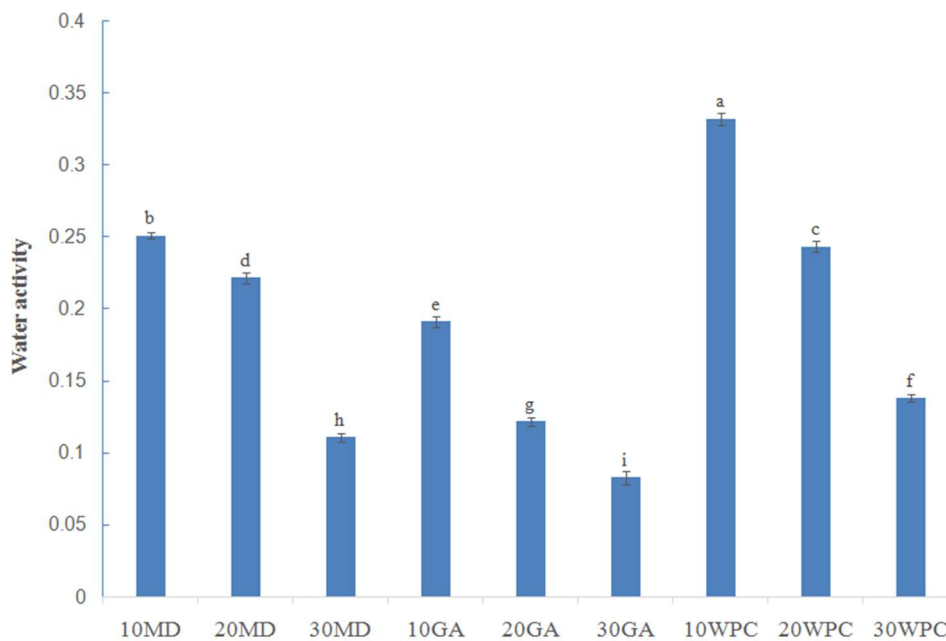
### ۵.۳. شاخص‌های جریان پذیری

شاخص تراکم‌پذیری، نسبت هاسنر و زاویه ریپوز پارامترهای مهمی هستند که در ارزیابی جریان‌پذیری پودرها به کار می‌روند. مقدار بالای آن‌ها نشان از تراکم‌پذیری و پیوستگی بالای پودرها و پایین بودن جریان‌پذیری آن‌ها می‌باشد. ماهیت و میزان ماده دیواره با تاثیر بر اندازه، شکل و میزان رطوبت پودرها، منجر به تغییر در جریان‌پذیری پودرها می‌گردد. با توجه به شکل (۳)، شاخص تراکم‌پذیری و نسبت هاسنر پودرهای استویا به ترتیب بین ۰/۲۲-۰/۰۷ و ۱/۲۸-۱/۰۸ متغیر بود. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت WPC، نسبت هاسنر و شاخص تراکم‌پذیری

شکل (۲) مشاهده می‌شود، با افزایش میزان حامل کاهش فعالیت آبی پودرهای تولیدی مشاهده شد، این شاخص برای پودر استویا بین ۰/۳۳-۰/۰۸ متغیر بود. با افزایش غلظت حامل و کاهش نسبت آب آزاد، این امر باعث کاهش مقدار آب آزاد کل در دسترس برای تبخیر می‌گردد. در نتیجه مقدار رطوبت کل پودر نهایی کاهش یافته و با کاهش آب آزاد فعالیت آبی نیز کاهش می‌یابد [۱۸]. سرابندی و صادقی ماهونک [۳۴]، تاثیر دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی را بر پودرهای شیریه خرما خشک شده به روش پاششی بررسی و گزارش کردند با افزایش میزان حامل، فعالیت آبی پودرها به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

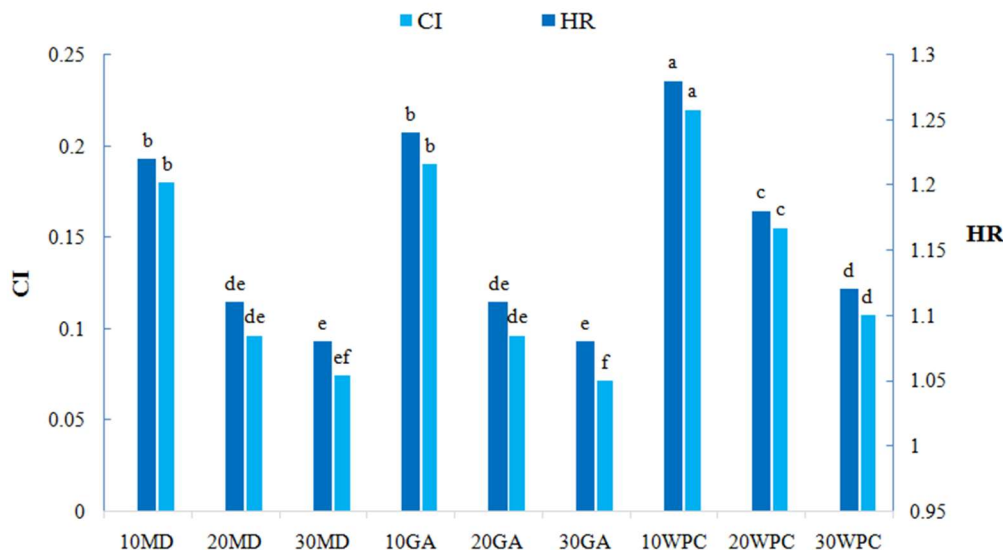
### ۴.۳. چگالی توده، ضربه و واقعی

چگالی پودر از نظر اقتصادی و حمل و نقل عامل مهمی است که به ماهیت ماده، رطوبت، نوع و شرایط خشک کردن بستگی دارد [۳۵]. با توجه به جدول ۲، مقادیر چگالی توده، ضربه و واقعی پودرهای استویا به ترتیب بین ۰/۵۹-۰/۳۴ g/mL و ۰/۶۴-۰/۳۹ g/mL متغیر بود. نتایج نشان دادند که با افزایش نسبت حامل، چگالی پودرها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ( $p < 0.05$ ). با افزایش غلظت حامل، گرانیوی خوراک ورودی افزایش می‌یابد، در نتیجه اندازه ذرات افزایش یافته و چگالی



شکل (۲) اثر نوع و غلظت ماده دیواره بر فعالیت آبی پودرهای استویا.

Fig. 2 The effect of type and concentration of wall material on the water activity of stevia powders.



شکل (۳) اثر نوع و غلظت ماده دیواره بر شاخص تراکم پذیری و نسبت هاسنر پودرهای استویا.

Fig. 3 The effect of type and concentration of wall material on the Hausner ratio and compressibility index of stevia powders.

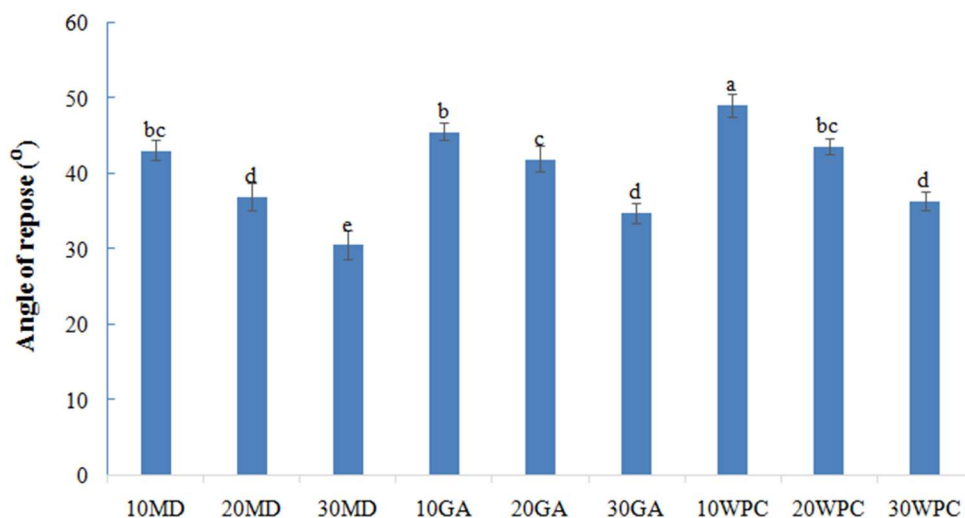
چسبندگی ذرات را در پی دارد، در نتیجه زاویه ریپوز کاهش یافته و جریان پذیری پودرها افزایش می‌یابد [۳۸]. سرابندی و همکاران [۱۸]، با بررسی غلظت و نوع ماده دیواره در خشک کردن پاششی آب آلبالو، گزارش کردند که با افزایش نسبت حامل، زاویه ریپوز به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، آن‌ها دلیل این امر را کاهش سطح تماس ذرات و نیروی اصطحکاک در نتیجه افزایش اندازه ذرات بیان کردند.

#### ۶.۳ انحلال پذیری

از ویژگی‌های عملکردی مهم پودرهای غذایی انحلال پذیری آن‌ها می‌باشد که از نقطه نظر اقتصادی و بازاریابی محصول اهمیت خاصی دارد. با توجه به شکل (۵)، انحلال پذیری پودرهای استویا بین ۹۷/۸۸-۸۳/۷۴٪ متغیر بود. در این پژوهش با افزایش غلظت WPC، انحلال پذیری پودرها به طور معنی‌داری کاهش یافت. در مورد پودرهای حاوی مالتودکسترین، افزایش غلظت از ۱۰ به ۲۰٪ منجر به کاهش قابل توجه در انحلال پذیری پودرها شد، اما با افزایش بیش تر غلظت حامل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با افزایش غلظت صمغ عربی از ۱۰ به ۲۰٪ تفاوت قابل ملاحظه‌ای در انحلال پذیری نمونه‌ها ایجاد نشد، اما با افزایش غلظت تا ۳۰٪، این شاخص به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت

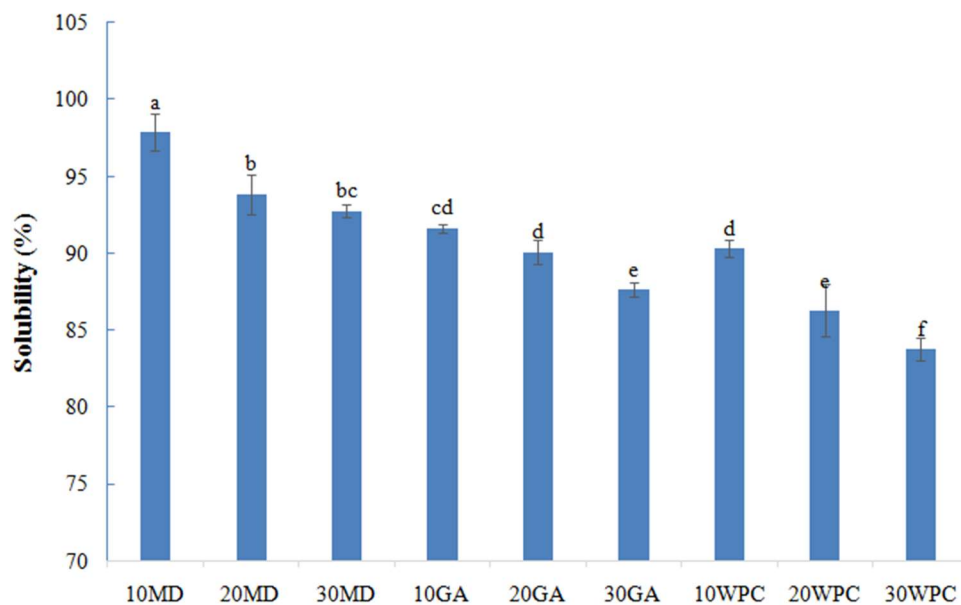
به میزان قابل توجهی کاهش یافت، در مورد پودرهای حاوی مالتودکسترین و صمغ عربی، افزایش غلظت حامل از ۱۰ به ۲۰٪ باعث کاهش قابل توجه نسبت هاسنر گشت، اما با افزایش غلظت از ۲۰ به ۳۰٪ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش غلظت صمغ عربی منجر به کاهش قابل ملاحظه شاخص تراکم پذیری شد و افزایش غلظت مالتودکسترین از ۱۰ به ۲۰٪ منجر به کاهش این شاخص شد و افزایش غلظت از ۲۰ به ۳۰٪ تفاوت معنی‌داری ایجاد نشد. کاهش نسبت هاسنر و شاخص تراکم پذیری، نشان از تراکم پذیری و چسبندگی پایین پودرها و جریان پذیری بالای آن‌ها دارد. با افزایش غلظت حامل، اندازه ذرات و میزان فضای خالی بین آن‌ها افزایش یافته که با افزایش تخلخل، افزایش جریان پذیری پودرها را در پی دارد [۳۰]. جیانپونگ و همکاران [۲۹] و کوخ و همکاران [۳۷]، نیز به ترتیب با خشک کردن پاششی شیر سویا و شیر نتایج مشابهی را گزارش کردند. با توجه به شکل (۴)، زاویه استاتیک ریپوز در بین تیمارهای تولیدی بین ۴۹/۱۲-۳۰/۶۳ درجه متغیر بود، به طوری که در تمامی تیمارها با افزایش میزان ماده دیواره، زاویه ریپوز به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت، که حاکی از افزایش جریان پذیری پودرها می‌باشد. با افزایش میزان ماده دیواره، اندازه ذرات افزایش و مقدار رطوبت کاهش می‌یابد که کاهش نیروی اصطحکاک و





شکل (۴) اثر نوع و غلظت ماده دیواره بر زاویه ریپوز پودرهای استویا.

Fig. 4 The effect of type and concentration of wall material on the repose angle of stevia powders.



شکل (۵) اثر نوع و غلظت ماده دیواره بر انحلال پذیری پودرهای استویا.

Fig. 5 The effect of type and concentration of wall material on the solubility of stevia powders.

می‌تواند منجر به کاهش انحلال پذیری پودرها گردد [۳۹]. این نتایج مشابه یافته‌های سانتالاکشمی و همکاران [۱۵] و گولا و آدامپولوس [۴۰] می‌باشد که خشک کردن پاششی جامان و پالپ گوجه فرنگی را بررسی کردند.

( $p < 0.05$ ). انحلال پذیری پودرهای تولید شده به روش پاششی به اندازه و شکل ذرات، نوع و غلظت حامل و شرایط خشک کردن بستگی دارد. قابل ذکر است که تشکیل مواد نامحلول طی فرایند خشک کردن و چسبیدن پودر به دیواره محفظه خشک کن

### ۷.۳. نم‌پذیری

با توجه به جدول (۱)، زمان نم‌پذیری پودرهای استویا حاوی صمغ عربی و WPC به میزان قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر غلظت بود اما افزایش غلظت مالتودکسترین تاثیر بر زمان نم‌پذیری نمونه‌ها نداشت ( $p < 0.05$ ). زمان نم‌پذیری پودرهای استویا بر حسب نوع و غلظت ماده دیواره بین  $51/08 - 3/10$  s متغیر بود. در بین تیمارهای مورد مطالعه بیش‌ترین و کم‌ترین سرعت نم‌پذیری به ترتیب مربوط به پودرهای حاصل از مالتودکسترین و WPC ۳۰ بود. کاهش زمان نم‌پذیری به دلیل افزایش گروه‌های آلدوست و کاهش گروه‌های آگریز در سطح ذرات می‌باشد [۳۰]. در تحقیق دیگری فرناندس و همکاران [۱۱]، گزارش کردند که با افزایش میزان اینولین، سرعت نم‌پذیری پودرهای خشک شده به روش پاششی افزایش می‌یابد، آن‌ها علت این امر را محتوای بالاتر رطوبت پودرهای حاوی اینولین و افزایش گروه‌های آلدوست بیان کردند. در بین تیمارهای تولیدی با صمغ عربی، با افزایش غلظت صمغ عربی به‌عنوان حامل، سرعت نم‌پذیری پودرها کاهش یافت، که به دلیل کاهش محتوای رطوبت پودرها با افزایش غلظت صمغ عربی می‌باشد. رطوبت بالاتر پودر، باعث افزایش سرعت نم‌پذیری می‌گردد، چرا که آگومریزاسیون که به‌طور معمول در پودرهایی با محتوای رطوبتی بالا رخ می‌دهد باعث نفوذ آسان‌تر و سریع‌تر آب به خلل و فرج موجود در پودرها می‌گردد [۳۶].

### ۸.۳. قابلیت جذب رطوبت

جذب رطوبت توسط پودرها به دلیل تشدید در سرعت واکنش‌های میکروبی و شیمیایی، کاهش پایداری و قابلیت نگهداری پودرها را در پی دارد. با توجه به نتایج ذکر شده در جدول (۱)، قابلیت جذب رطوبت پودرها بین  $30/66 - 11/80$ ٪ متغیر بود. با افزایش میزان حامل‌های صمغ عربی و مالتودکسترین، قابلیت جذب رطوبت پودرها کاهش یافت. افزایش میزان WPC، از ۱۰ به ۲۰٪ منجر به کاهش معنی‌دار این شاخص گشت، اما با افزایش بیش‌تر غلظت WPC، تاثیر قابل توجهی مشاهده نشد. نتایج نشان دادند که در بین حامل‌های مورد استفاده بیش‌ترین و کم‌ترین میزان قابلیت جذب رطوبت به ترتیب مربوط به پودرهای حاوی ۱۰ صمغ عربی و WPC ۳۰ بود. احتمالاً علت این یافته به دلیل قابلیت تشکیل فیلم پروتئین‌ها با چسبندگی و قابلیت جذب رطوبت کم‌تر است [۱۸]. در بین نمونه‌های حاوی صمغ عربی و

مالتودکسترین، افزایش میزان حامل منجر به کاهش قابلیت جذب رطوبت شد چرا که میزان جذب رطوبت پودرها به دمای انتقال شیشه‌ای آن‌ها مربوط است با افزایش میزان حامل، دمای انتقال شیشه‌ای افزایش می‌یابد و از قابلیت جذب رطوبت پودرها می‌کاهد [۴۱]. قابلیت جذب رطوبت پودرها تحت تاثیر پارامترهای مختلفی قرار می‌گیرند. تحقیقات مختلفی اثر شرایط خشک کردن پاششی را بر این پارامتر بررسی کردند به‌طور مثال، سانتالاکشمی و همکاران [۱۵]، با خشک کردن پاششی جامان، افزایش قابلیت جذب رطوبت پودرها را با افزایش دمای هوای ورودی گزارش کردند، آن‌ها این امر را به میزان رطوبت پودرها نسبت دادند و بیان کردند که با افزایش میزان رطوبت، قابلیت جذب رطوبت پودرها افزایش می‌یابد. تانن و همکاران [۴۳]، هوساری و همکاران [۳۲]، نیز به ترتیب کاهش قابلیت جذب رطوبت پودرهای اسایی و تمبر هندی را با افزایش غلظت حامل گزارش کردند.

### ۹.۳. رنگ سنجی

رنگ از مهم‌ترین فاکتورهایی است که در جلب نظر مصرف‌کننده تاثیر به‌سزایی دارد. شاخص‌های رنگی پودر استویا بر حسب نوع و غلظت ماده دیواره در جدول ۲، نشان داده شده است. در تمامی نمونه‌ها با افزایش غلظت حامل از ۱۰ به ۲۰٪ مقدار روشنیایی  $L^*$  افزایش یافت، اما با افزایش غلظت حامل تا ۳۰٪ تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد. سانتالاکشمی و همکاران [۱۵]، افزایش مقدار روشنیایی را در پودرهای جامان، با افزایش دمای هوای ورودی مشاهده کردند. آن‌ها علت این امر را تخریب آنتوسیانین و رنگدانه‌های حساس به حرارت بیان کردند. افزایش غلظت حامل در نمونه‌های تولیدی با مالتودکسترین منجر به کاهش شاخص  $a^*$  شد. با افزایش  $a^*$ ، رنگ قرمز پودرها افزایش و رنگ سبز در آن‌ها کاهش می‌یابد. نمونه ۳۰ صمغ عربی دارای بیش‌ترین شاخص  $a^*$  و تیره‌ترین و قرمزترین رنگ بود. این امر به دلیل ماهیت اولیه و رنگ صمغ عربی می‌باشد [۴۳]. در نمونه‌های حاوی WPC، افزایش غلظت حامل از ۱۰ به ۲۰٪، منجر به کاهش این شاخص شد، اگرچه افزایش بیش‌تر تاثیر معنی‌داری نداشت. بر اساس مطالعات بازاریا و کومار [۴۴]، رنگ نمونه‌ها به‌میزان زیادی تحت تاثیر رنگ کرم روشن WPC می‌شد و با افزایش غلظت آن، میزان روشنیایی پودرها افزایش

حاصل از صمغ عربی و مالتودکسترین برخوردار بودند. پودرهای حاصل از مالتودکسترین دارای چروکیدگی سطحی بیش‌تری بودند، درحالی‌که با استفاده از صمغ عربی و WPC پودرهایی با چروکیدگی عمیق‌تر تولید شدند. این یافته به دلیل تشکیل سریع پوسته پروتئینی در مراحل اولیه خشک کردن و انتشار مولکول‌های آب از مولکول‌های بزرگ‌تر حامل باشد [۴۲]. افزایش غلظت صمغ عربی موجب افزایش ویسکوزیته خوراک و ضخامت فیلم تشکیل شده در اطراف ذرات می‌گردد. در این شرایط، سرعت خروج رطوبت کندتر و با طولانی‌تر شدن سرعت تشکیل فیلم، ذراتی با چروکیدگی سطحی بیش‌تر تولید می‌شوند [۳۴]. یافته‌های حاصل از این تحقیق در تطابق با یافته‌های هوساری و همکاران [۳۲] و فالدت و برجنستال [۴۵] است که به ترتیب با بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی پودرهای خشک شده تمبر هندی و مخلوط لاکتوز- پروتئین، به روش پاششی، چروکیدگی بیش‌تری را در پودرهای حاوی WPC مشاهده کردند. آن‌ها علت این یافته را تشکیل فیلم پروتئینی توسط WPC بیان کردند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

با توجه به مزایای خشک کردن پاششی در ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال، انواع عصاره‌ها و تولید پودرهایی با پایداری بیش‌تر و قابلیت حمل و نقل بهتر، در این پژوهش، فرایند خشک کردن پاششی عصاره استویا با حامل‌های مختلف صمغ عربی، مالتودکسترین و WPC در غلظت‌های متفاوت انجام شد. نتایج نشان دادند که افزایش غلظت مالتودکسترین، به دلیل افزایش

یافته و از شدت رنگ قرمز کاسته می‌شود. بیش‌ترین شاخص  $b^*$  مربوط به تیمار ۱۰ مالتودکسترین و کم‌ترین میزان به نمونه‌های ۲۰ و ۳۰ صمغ عربی و ۳۰ WPC مربوط بود. کاهش شاخص  $b^*$ ، از کاهش رنگ زرد پودرها حکایت دارد. نمونه‌های ۲۰ و ۳۰ WPC دارای بیش‌ترین میزان شاخص Hue بودند و کم‌ترین میزان این شاخص در نمونه‌های ۱۰ مالتودکسترین، ۲۰ و ۳۰ صمغ عربی مشاهده شد. Chroma، شدت یا اشباعیت رنگ را نشان می‌دهد [۴۱]. استفاده از غلظت‌های ۱۰ و ۲۰٪ مالتودکسترین منجر به تولید پودرهایی با بیش‌ترین میزان شاخص Chroma شد. کم‌ترین میزان Chroma مربوط به پودرهای WPC ۳۰، ۲۰ و ۳۰ صمغ عربی بود. به‌طور کلی رنگ پودرهای تولیدی به روش پاششی به نوع ماده‌ی اولیه، غلظت و نوع ماده دیواره و دمای خوراک ورودی بستگی دارد. سرابندی و همکاران [۱۸]، با خشک کردن پاششی آب‌آلبالو با ترکیب‌های مختلفی از مالتودکسترین، صمغ عربی و WPC به‌عنوان ماده دیواره، گزارش کردند که نوع حامل تأثیری در شاخص روشنایی نداشت و شاخص  $a^*$  پودرها با افزایش غلظت صمغ عربی، کاهش یافت.

#### ۱۰.۳. ریزساختار پودرهای عصاره استویا

با استفاده از تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی می‌توان اثر نوع و غلظت حامل را بر ویژگی‌های سطحی پودرهای خشک شده به روش پاششی بررسی نمود. با توجه به شکل (۶)، پودرهای تولیدی با WPC، از اندازه ذرات بزرگ‌تری نسبت به نمونه‌های

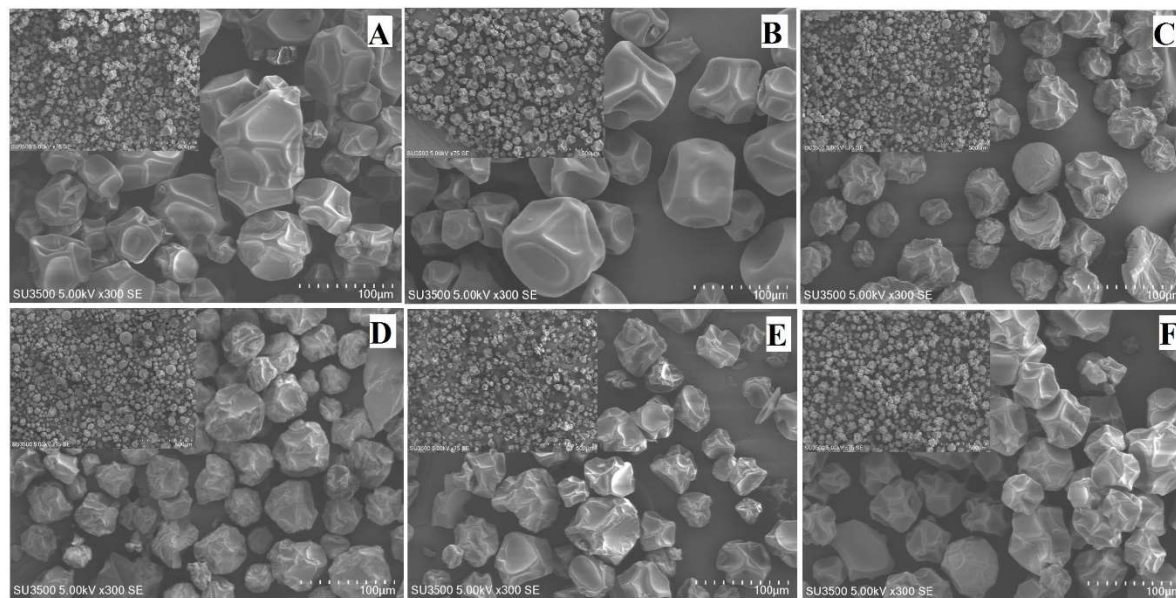
جدول (۲) شاخص‌های رنگی پودرهای استویا

Table 2 Color characterization of spray dried stevia extracts

	L*	a*	b*	Hue	Chroma
10MD	44.24±0.32e	1.43±0.22b	48.43±0.54a	88.24±0.40e	48.42±0.51a
20MD	51.50±0.46bc	0.57±0.049c	46.52±0.59b	89.31±0.55cd	46.90±0.92ab
30MD	52.16±0.69abc	-0.38±0.036d	44.68±0.65bc	90.41±0.52bc	44.76±0.57c
10GA	50.75±0.57c	0.68±0.033c	44.60±0.68c	89.29±0.52cd	44.64±0.62bc
20GA	53.49±0.62a	1.45±0.107b	43.57±0.62cde	88.17±0.41de	43.75±0.49cde
30GA	53.45±0.50a	1.78±0.064a	42.60±1.09de	87.62±0.50e	42.28±0.54e
10WPC	49.21±0.35d	-0.87±0.44e	45.32±0.5bc	91.28±0.52bc	45.36±0.56bc
20WPC	52.43±0.51ab	-2.25±0.101f	44.24±0.53cd	92.83±0.64a	44.29±0.52cd
30WPC	53.48±0.55a	-2.27±0.016f	42.29±0.53e	93.10±0.24a	42.74±0.56de

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان از عدم تفاوت معنی‌دار در سطح  $p < 0.05$  می‌باشد.

Different letters in the same column indicate significant difference among samples  $P < 0.05$



شکل (۶) تصاویر میکروسکوپ الکترونی پودرهای استویا. A: 10 WPC، B: 30 WPC، C: 10 MD، D: 30 MD، E: 10 GA، F: 30 GA.

Fig. 6 Scanning electron micrographs of spray dried stevia extract. A: 10 WPC, B: 30 WPC, C: 10MD, D: 30MD, E: 10GA, F: 30GA.

ذرات و نگهداری آب می‌باشد. در تمامی نمونه‌ها با افزایش غلظت حامل، چگالی توده، ضربه و واقعی کاهش یافت و کم‌ترین میزان چگالی مربوط به نمونه 30 WPC، به دلیل تشکیل فیلم پروتئینی و به دام اندازی هوا، بود. با توجه به مزایا و ویژگی‌های پودر عصاره استویا، می‌توان از آن به عنوان شیرین‌کننده در صنایع قنادی و نوشیدنی در جهت تولید محصولات کم کالری، به کار برد.

دمای انتقال شیشه‌ای خوراک و ایجاد لایه‌ای چسبنده در اطراف ذرات، منجر به افزایش بازده پودر و افزایش میزان صمغ عربی و WPC منجر به کاهش این شاخص گشت. بیش‌ترین میزان حلالیت نمونه‌ها مربوط به تیمار 10 MD بود. نمونه 10 WPC دارای بیش‌ترین میزان شاخص تراکم پذیری، نسبت هاسنر و زاویه ریپوز و در نتیجه کم‌ترین میزان جریان پذیری بود، هم‌چنین این تیمار، بالاترین میزان رطوبت و فعالیت آبی را دارا بود که به دلیل قابلیت پروتئین در تشکیل سریع فیلم در اطراف

## منابع

to steviol glycosides. *Off. J. Eur. Communities.*, 295, 205-211.

[4] Prakash, I., DuBois, G. E., Clos, J. F., Wilkens, K. L., Fosdick, L. E. (2008). Development of rebiana, a natural, non-caloric sweetener. *Food Chem. Toxicol.*, 46, S75-S82.

[5] Curry, L. L., Roberts, A. (2008). Subchronic toxicity of rebaudioside A. *Food Chem. Toxicol.*, 46, S11-S20.

[6] Oliveira, W. P., Bott, R. F., Souza, C. R. (2006). Manufacture of standardized dried extracts from medicinal Brazilian plants. *Drying Technol.*, 24, 523-533.

[1] Agarwal, V., Kochhar, A., Sachdeva, R. (2010). Sensory and nutritional evaluation of sweet milk products prepared using stevia powder for diabetics. *Stud. Ethno-Medicine.*, 4, 9-13.

[2] Nehir El, S., Simsek, S. (2012). Food technological applications for optimal nutrition: an overview of opportunities for the food industry. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 11, 2-12.

[3] European Commission (2011). Commission Regulation (EU) No 1131/2011 of 11 November 2011 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council with regard

- oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *J. Food Eng.*, 115, 443-451.
- [20] de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydr. Polym.*, 101, 524-532.
- [21] Botrel, D. A., de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., Yoshida, M. I. (2014). Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. *Food Res. Int.*, 62, 344-352.
- [22] Rodea-González, D. A., Cruz-Olivares, J., Román-Guerrero, A., Rodríguez-Huezo, M. E., Vernon-Carter, E. J., Pérez-Alonso, C. (2012). Spray-dried encapsulation of chia essential oil (*Salvia hispanica* L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. *J. Food Eng.*, 111, 102-109.
- [23] Goula, A. M., Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.*, 11, 342-351.
- [24] Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Inno. Food Sci. Emerging Technol.*, 6, 420-428.
- [25] Rao, G. N. (2014). Antioxidant Activity of Stevia (*Stevia rebaudiana* L.) Leaf Powder and A Commercial Stevioside Powder. *J. Food Pharm. Sci.*, 2, 32-38.
- [26] Bhandari, B. R., Datta, N., Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technol.*, 15, 671-684.
- [27] Shrestha, A. K., Ua-Arak, T., Adhikari, B. P., Howes, T., Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *Int. J. Food Prop.*, 10, 661-673.
- [28] Deshpande, H. W., Poshadri, A. (2011). Physical and sensory characteristics of extruded snacks prepared from Foxtail millet based composite flours. *Int. Food Res. J.*, 18, 751-756.
- [29] Jinapong, N., Suphantharika, M., Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *J. Food Eng.*, 84, 194-205.
- [30] Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.*, 6, 420-428.
- [31] Fuchs, M., Turchiuli, C., Bohin, M., Cuvelier, M. E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., Dumoulin, E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *J. Food Eng.*, 75, 27-35.
- [32] Bhusari, S. N., Muzaffar, K., Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural
- [7] Desobry, S. A., Netto, F. M., Labuza, T. P. (1997). Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for  $\beta$ -carotene encapsulation and preservation. *J. Food Sci.*, 62, 1158-1162.
- [8] Phisut, N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *Int. Food Res. J.*, 19, 1297-1306.
- [9] Kaushik, R., Narayanan, P., Vasudevan, V., Muthukumar, G., Usha, A. (2010). Nutrient composition of cultivated stevia leaves and the influence of polyphenols and plant pigments on sensory and antioxidant properties of leaf extracts. *J. Food Sci. Technol.*, 47, 27-33.
- [10] Charve, J., Reineccius, G. A. (2009). Encapsulation performance of proteins and traditional materials for spray dried flavors. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 2486-2492.
- [11] Fernandes, L. P., Turatti, I. C., Lopes, N. P., Ferreira, J. C., Candido, R. C., Oliveira, W. P. (2008). Volatile retention and antifungal properties of spray-dried microparticles of *Lippia sidoides* essential oil. *Drying Technol.*, 26, 1534-1542.
- [12] Wang, W., Jiang, Y., Zhou, W. (2013). Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. *J. Food Eng.*, 119, 724-730.
- [13] Shi, Q., Fang, Z., Bhandari, B. (2013). Effect of addition of whey protein isolate on spray-drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material. *Drying Technol.*, 31, 1681-1692.
- [۱۴] سربانندی، خ؛ صادقی ماهونک، ع. (۱۳۹۵). اثر دمای هوای ورودی و میزان مالتودکسترین بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی پودر شیرهای خرما خشک شده به روش پاششی، فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، جلد ۱۴. شماره ۴. ص ۱-۱۵.
- [15] Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S., Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technol.*, 274, 37-43.
- [16] Subtil, S. F., Rocha-Selmi, G. A., Thomazini, M., Trindade, M. A., Netto, F. M., Favaro-Trindade, C. S. (2014). Effect of spray drying on the sensory and physical properties of hydrolysed casein using gum arabic as the carrier. *J. Food Sci. Technol.*, 51, 2014-2021.
- [17] Rascón, M. P., Beristain, C. I., García, H. S., Salgado, M. A. (2011). Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum Arabic and soy protein isolate as wall materials. *LWT-Food Sci. Technol.*, 44, 549-557.
- [18] Sarabandi, K., Peighambari, S. H., Mahoonak, A. S., Samaei, S. P. (2017). Effect of carrier types and compositions on the production yield, microstructure and physical characteristics of spray dried sour cherry juice concentrate. *J. Food Meas. Charact.*, 11, 1602-1612.
- [19] Carneiro, H. C., Tonon, R. V., Grosso, C. R., Hubinger, M. D. (2013). Encapsulation efficiency and



- [44] Bazaria, B., 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 Biosci.*, 14, 21-27.
- [45] Fäldt, P., Bergenståhl, B. (1994). The surface composition of spray-dried protein—lactose powders. *Colloids Surf. A.*, 90, 183-190.
- properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technol.*, 266, 354-364.
- [33] Holm, K., Wendin, K., Hermansson, A. M. (2009). Sweetness and texture perceptions in structured gelatin gels with embedded sugar rich domains. *Food Hydrocoll.*, 23, 2388-2393.
- [۳۴] سرابندی، خ؛ صادقی ماهونک، ع. (۱۳۹۷) تاثیر فرایند خشک کردن پاششی بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، عملکردی و میکروساختار پودرهای شیرهای خرما خشک شده به روش پاششی، *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*، جلد ۷۴، شماره ۱۵، ص ۱۵۵-۱۶۸.
- [35] Buffo, R. A., Probst, K., Zehentbauer, G., Luo, Z., Reineccius, G. A. (2002). Effects of agglomeration on the properties of spray-dried encapsulated flavours. *Flavour Fragrance J.*, 17, 292-299.
- [36] Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food Bioprod. Process.*, 90, 667-675.
- [37] Keogh, K., Murray, C., Kelly, J., O'Kennedy, B. (2004). Effect of the particle size of spray-dried milk powder on some properties of chocolate. *Lait.*, 84, 375-384.
- [38] Lumay, G., Boschini, F., Traina, K., Bontempi, S., Remy, J. C., Cloots, R., Vandewalle, N. (2012). Measuring the flowing properties of powders and grains. *Powder Technol.*, 224, 19-27.
- [39] El-Samahy, S. K., El-Hady, E. A., Habiba, R. A., Moussa-Ayoub, T. E. (2007). Some functional, chemical, and sensory characteristics of cactus pear rice-based extrudates. *J. PACD.*, 9, 136-147.
- [40] Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *J. Food Eng.*, 66, 35-42.
- [۴۱] دزیانی، ع؛ جعفری، س. م؛ ضیایی فر، ا؛ قربانی، م؛ صادقی ماهونک، ع. بهینه سازی فرایند خشک کردن پاششی رب گوجه فرنگی با استفاده از روش سطح پاسخ. (۱۳۹۶) *فصلنامه علوم و صنایع غذایی*، جلد ۷۲، شماره ۱۴، ص ۴۷-۶۵.
- [42] Tonon, R. V., Brabet, C., Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *J. Food Eng.*, 88, 411-418.
- [43] Daza, L. D., Fujita, A., Fávaro-Trindade, C. S., Rodrigues-Ract, J. N., Granato, D., Genovese, M. I. (2016). Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food Bioprod. Process.*, 97, 20-29.