



بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی عصاره گل گاوزبان (*Echium amoenum*) تولید شده با حامل‌های مختلف به روش خشک کن پاششی

امیر ثابتی^۱، ابوالفضل فدوی^{۲*}، سعیده عربشاهی دلویی^۳، ابوالقاسم سراج^۴، طاهر شاهی^۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

^{۲*} استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

^۳ استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

^۴ استادیار، گروه علوم دامی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

^۵ استادیار، گروه ماشین‌های کشاورزی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ‌های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۸

کلمات کلیدی:

عصاره گل گاوزبان،

مالتودکسترین،

صمغ عربی،

کنسانتره پروتئین آب پنیر،

خشک کن پاششی

در این پژوهش، تاثیر دمای هوای ورودی (۱۳۰ و ۱۶۰°C)، نوع و ترکیب حامل‌ها (مالتودکسترین، صمغ عربی و کنسانتره پروتئین آب پنیر) بر بازدهی تولید، مقدار رطوبت، دانسیته توده، دانسیته ضربه، حلالیت، نم‌پذیری، جریان پذیری (زاویه ریپوز) و جاذب-الرطوبگی عصاره گل گاوزبان خشک شده به روش پاششی بررسی شدند. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار هوای اتمایزر بترتیب در ۱۸۰۰۰ دور بر دقیقه، ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه، ۳۰±۱ درجه سانتیگراد و ۴±۰/۱ بار ثابت نگاه داشته شدند. حداقل اختلاف معنی‌دار در کمتر از (P< 0.05) با استفاده از نرم افزار SPSS محاسبه گردید. نتایج نشان دادند که بالاترین بازده تولید (۴۸٪) در نمونه‌های خشک شده با ترکیب مالتودکسترین و WPC حاصل شد. درحالی‌که استفاده از پروتئین بعنوان حامل منجر به کاهش مقدار رطوبت، دانسیته توده و ضربه، حلالیت، نم‌پذیری و جاذب‌الرطوبگی ذرات شد. نتایج بهینه سازی با استفاده از مدل‌های برآورد شده بیانگر این بود که بیشترین میزان حلالیت و کمترین میزان هیگروسکپی در پودر خشک شده در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد با حامل مالتودکسترین و صمغ عربی ایجاد می گردد.

DOI: 10.22034/FSCT.20.139.220

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.139.16.0

* مسئول مکاتبات:

Fadavi.ac.ir@gmail.com

۱- مقدمه

گل گاوزبان با نام علمی *Borago officinalis L.* از خانواده بوراگیناسه است که مصرف آن در سالیان اخیر، بعنوان یک گل خوراکی سلامت بخش در محصولات غذایی و دارویی، افزایش چشمگیری داشته است. بخشهای بالایی گیاه از قبیل گل و دانه های آن حاوی ترکیبات زیست فعال و اسیدهای چرب غیراشباعی چون گاما لینولنیک اسید [1]، توکوفرول ها، کارتنوئیدها [2]، فلاونوئیدها، تانن ها، آنتوسیانین ها و استرول ها [3] می باشند. ناپایداری و حساسیت ترکیبات فنلی و آنتی اکسیدانی موجود در عصاره گل گاو زبان به عوامل محیطی [4] محققان را برآن داشته تا به دنبال راهکارهای مختلفی از جمله ریزپوشانی برای حفظ آن ترکیبات باشند. ریزپوشانی یکی از روشهای مفیدی است که در آن ترکیبات حساس، داخل پوشش یا مواد دیواره ای قرار گرفته و در مقابل شرایط نامساعد محیطی محافظت می شوند [5]. این روش با مواد پوشش دهنده مختلفی مانند صمغ عربی و مالتودکسترین و برخی فرایندها مانند خشک کن پاششی انجام می شود. در این روش ریزپوشانی، با توجه به چالش هایی مانند افت محصول به واسطه چسبیدن محصول به دیواره خشک کن و همچنین تنش حرارتی در طول دهیدراسیون و کاهش کیفیت ویژگی های عملکردی و فعالیت بیولوژیکی ترکیبات موثره [6] لزوم یافتن ترکیبات مناسب پوشش دهنده و درجه حرارت مناسب خشک کردن ضروری به نظر می رسد. تحقیقات انجام شده مناسب بودن صمغ ها و پروتئین ها در بکارگیری از آنها به عنوان حامل مناسب را تایید نموده است که جهت ریزپوشانی ترکیبات حساس گیاهی مورد استفاده قرار می گیرد [7] اما کارایی هر کدام از حامل ها در حفظ ترکیبات زیست فعال بسته به ترکیب خوراک و شرایط فرآیند متفاوت می باشد [8]. تحقیقات متعددی درخصوص ارزیابی ریزپوشانی با حامل مالتودکسترین به تنهایی یا مخلوط با سایر ترکیبات انجام

شده است که می توان به ارزیابی عصاره اتانولی هویج سیاه ریزپوشانی شده با مالتودکسترین فراوری شده در دمای ۱۸۰-۱۳۰ درجه سانتیگراد [9]، عصاره دارچین ریزپوشانی شده با مالتودکسترین فراوری شده در دمای ۱۸۰-۱۴۰ درجه سانتیگراد [10]، عصاره سویا ریزپوشانی شده با مالتودکسترین، نشاسته و سیلیکون دی اکسید [11]، روغن زیتون خالص ریزپوشانی شده با سدیم کازئینات، ژلاتین، صمغ عربی، نشاسته، لاکتوز و مالتودکسترین [12]، عصاره گیاه گیسوفیلا^۱ با بریکس ۱۵، ۲۲/۵ و ۳۰ درصد ریزپوشانی شده با مالتودکسترین فراوری شده در دمای ۱۶۰-۱۱۰ درجه سانتیگراد [13]، عصاره زعفران ریزپوشانی شده با مالتو دکسترین و صمغ عربی و ژلاتین [14] و عصاره کاگایتا ریزپوشانی شده با صمغ عربی و اینولین فراوری شده در دمای خشک کن ۱۶۰-۱۲۰ درجه سانتیگراد [15] اشاره نمود. لذا باتوجه به این که تاکنون تحقیقی در بکارگیری حامل های پروتئین آب پنیر و صمغ عربی بعنوان مکمل در ترکیب با مالتودکسترین برای ریزپوشانی عصاره آبی گل گاوزبان به روش پاششی صورت نپذیرفته است لذا ضرورت انجام این تحقیق احساس گردید تا با تولید نمونه های باکیفیت، خواص عملکردی آن عصاره افزایش یابد.

۲- مواد و روش ها

برگ گل گاوزبان، مالتودکسترین با DE=۱۸-۲۰ (شرکت پوران پودر سپاهان، اصفهان، ایران)، صمغ عربی (KBR)، پودر کنسانتره پروتئین آب پنیر (هیلمار آمریکا)، آون (شرکت ایسوزو، مدل KH23S، ژاپن)، دستگاه سانتریفوژ (هروس، آلمان)، همزن مغناطیسی، مدل L-81، شرکت لاینکو بی وی، هلند، خشک کن پاششی (درس، ایران)، دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-۲۱۰۰، Visible

1- *Gypsophila*

یونیکو، آمریکا)، دستگاه رنگ سنج با دیواره سفید کالرفلکس (هانتربل، آمریکا).

۲-۱- آماده سازی نمونه ها

برگ‌های گل گاوزبان از بازار محلی تهیه شدند. سپس توسط آسیاب پودر و از الک با مش ۴۰ (۰/۴ میلی متر) عبور داده شد و تا زمان انجام آزمایشات در دمای ۱۸- درجه سانتیگراد نگهداری گردید. مقدار معینی پودر گل گاوزبان با نسبت ۱ به ۱۰ به ۱۰۰۰ میلی لیتر آب ۶۰ درجه سانتیگراد افزوده و به مدت ۶۰ دقیقه در همین دما به آرامی هم زده شد. سپس عصاره استخراج شده سانتیفریژ و باقی مانده ذرات از کاغذ صافی واتمن ۱ عبور داده شد. برای تولید هر کدام از تیمارها، حامل مالتودکسترین با DE برابر ۱۸ الی ۲۰ پوران پودر سپاهان، اصفهان، ایران)، صمغ عربی و کنسانتره پروتئین آب پنیر در ترکیب مساوی با مالتودکسترین و در نسبت‌های ۱۰ درصد وزنی/حجمی حامل به عصاره آبی تهیه شده افزوده شد. فرآیند انحلال حامل در عصاره در دمای محیط و با استفاده از همزن مغناطیسی (۸۱-L، لایونکو بی وی، هلند) به مدت ۴۵ دقیقه و در دور ۵۰۰rpm انجام شد. خوراک‌های حاصل جهت انحلال کامل ترکیبات حامل و تولید محلولی شفاف، به مدت ۶ ساعت قبل از فرآیند خشک کردن پاششی نگهداری شد.

۲-۲- فرآیند خشک کردن

در این تحقیق از یک خشک‌کن پاششی در مقیاس آزمایشگاهی (درسا، ایران) شد. محفظه خشک‌کن به صورت استوانه‌ای با قسمت تحتانی مخروطی شکل با قطر قسمت استوانه‌ای ۴۸ سانتیمتر و ارتفاع کل محفظه یک متر است. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی پریستالتیک با دبی تغذیه متغیر با فشار ۱bar برای ارسال خوراک به نازل است. فرآیند پاشش توسط اتمایزر فشاری با قطر ۲cm و قابلیت عمل توسط کمپرسور هوا، صورت گرفت. ترکیب و نوع حامل مورد استفاده در تهیه خوراک‌ها،

متغیرهای فرآیند هستند. بدین ترتیب که از هوای ورودی با دمای (۱۴۰ درجه سانتیگراد) و بصورت هم جهت با خوراک‌های حاصل از حامل‌های مالتودکسترین و ترکیب مالتودکسترین با صمغ عربی و کنسانتره پروتئین آب پنیر در نسبت مساوی ۱:۱۰ آن‌ها که قبل تهیه شده برای خشک کردن استفاده گردید. پودر حاصل از خروجی 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 شد.

۲-۳- آزمایشات پودر عصاره گل گاو زبان

۲-۳-۱ بازده تولید پودر

بازده تولید محصول به صورت 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.

۲-۳-۲ اندازه گیری میزان رطوبت

حدود ۲ گرم پودر در یک پتری دیش (که ظرف قبلاً خشک و وزن شده است) وزن شده سپس ظرف حاوی پودر بمدت ۲-۳ ساعت در یک آون در دمای (2 ± 105) درجه سانتیگراد قرار داده، در نهایت از آون خارج و در دسیکاتور خنک و سپس وزن، فرآیند خشک کردن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه خواهد یافت. مقدار رطوبت از طریق معادله زیر محاسبه شد [16].

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

که در آن M درصد رصوبت، W1 وزن ظرف خالی، W2 مجموع وزن پودر و ظرف و W3 مجموع وزن پودر خشک شده و ظرف بعد از آون گذاری می‌باشند.

زاویه ریپوز از طریق زاویه تشکیل شده بوسیله شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه می‌گردد [19].

۲-۳-۶ اندازه گیری پایداری فیزیکی (جاذب الرطوبگی)^۱

قابلیت جاذب الرطوبه بودن پودرها به شکل مقدار رطوبت (گرم آب جذب شده توسط ۱۰۰ گرم پودر) طی ۷ روز نگهداری در دمای محیط 30°C و رطوبت نسبی $\text{RH} = 75\%$ در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید سدیم تعیین گردید [16].

۲-۳-۷ اندازه گیری نم پذیری^۲

برای تعیین نم‌پذیری پودرها نیز از روش سرابندی و همکاران [20]، با کمی اصلاحات استفاده شد. 0.2 گرم پودر در دمای محیط بر سطح 100ml آب مقطر بدون هم-زدن ریخته شد. زمان صرف شده برای ته نشست ذرات از سطح آب به طوری که هیچ ذره‌ای بر سطح نمانده باشد برای محاسبه شاخص نم‌پذیری ثبت گردید.

۲-۴ روش آماری

در این پژوهش، از طرح فاکتوریل 3×2 استفاده گردید که متغیر سه سطحی مربوط به نوع حامل یعنی مالتودکسترین، مالتودکسترین-صمغ عربی و مالتودکسترین-پروتئین آب پنیر و متغیر دو سطحی مربوط به دمای هوای 160 و 180 درجه سانتیگراد خشک کن بود. بنابراین ۶ تیمار تولید شدند که هرکدام ۳ تکرار داشتند و سپس آزمونهای بازده تولید، محتوی رطوبت، دانسیته توده و ضربه، حلالیت، زاویه ریپوز، جاذب الرطوبگی و نم‌پذیری، اندازه گیری شد. آنالیز مقایسه میانگین داده های بدست آمده با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد به کمک نرم افزار SPSS نسخه ۱۹ و آنالیز تجزیه واریانس داده با بکارگیری نرم افزار Design Expert 10.0.7.0, 2017 انجام

۲-۳-۳ اندازه گیری دانسیته توده و دانسیته حاصل از

ضربه

دانسیته توده با افزودن تدریجی ۲ گرم پودر عصاره گل گاوزبان به استوانه مدرج (10ml) با درجه بندی 0.1ml و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، بصورت (گرم بر میلی لیتر) محاسبه گردید. سپس با استفاده از دانسیتومتر ضربه‌ای، ضربات مداومی به استوانه وارد تا زمانی که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف شود (میانگین ۴۰۰ ضربه)، در نهایت نسبت جرم پودر به حجم حاصل پس از ضربه محاسبه و دانسیته توده حاصل از ضربه بدست آمد [17].

۲-۳-۴ اندازه گیری حلالیت

انحلال پذیری پودرهای عصاره گل گاوزبان با استفاده از روش کانو و همکاران [18]، با کمی اصلاحات بدست آمد. بدین صورت که، ۱ گرم پودر به دقت به 100ml آب مقطر تحت شرایط هم زدن با یک همزن مغناطیسی در 700rpm بمدت ۴ دقیقه اضافه گردید. محلول حاصل در $3000 \times \text{g}$ برای ۴ دقیقه سانتریفوژ شد. حجم 25ml از محلول فوقانی جدا و به یک پتری دیش که از قبل وزن گردیده منتقل و در 105°C بمدت ۵ ساعت خشک گردید. وزن ماده جامد خشک شده نسبت به پودر اولیه بر حسب درصد جهت تعیین مقدار انحلال پذیری در آب بکار رفت.

۲-۳-۵ اندازه گیری زاویه ریپوز

زاویه ایستا (ساکن) ریپوز، از نوع زاویه استاتیک پرشونده یا ریزشی برای تعیین جریان پذیری نسبی پودرهای غذایی اندازه گیری می‌شود. مقدار ۱۰ گرم پودر عصاره گل گاوزبان را وزن کرده و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای خارجی (قطر خارجی) ۱۲ میلی متر عبور داده تا بر یک سطح افقی صاف ریخته شده و تشکیل یک توده دهد.

1 -Hygroscopic

2 -Wettability

تولید، تاثیر بهتری نسبت به سایر پوشش دهنده ها داشت. تاثیر افزودن پروتئین به خوراک را می‌توان به عملکرد آن در تشکیل لایه نازکی از یک فیلم غیرچسبنده در اطراف ذرات ماده جامد خوراک نسبت داد که موجب کاهش چسبندگی بین ذرات و بین ذرات با دیواره خشک‌کن می‌گردد و موافق با نتایج ارائه شده توسط وانگ و همکاران، [22] بود. آنها گزارش نمودند که افزایش جایگزینی مالتودکسترین با پروتئین آب پنیر موجب افزایش بازده تولید و کاهش درجه کیک شدن پودرها گردید. آن‌ها مکانیزم عملکرد WPI در کاهش چسبندگی و افزایش بازده را مهاجرت ترجیحی پروتئین‌ها به سطح ذرات و افزایش پایداری پودرها بیان کردند.

گرفت و با توجه مقادیر p -value معنی داری اثرات خطی و متقابل حامل‌ها و درجه حرارت خشک کن بررسی شدند. همچنین شناسایی مدل مناسب با توجه به میزان مقادیر R^2 اصلاح شده^۱، R^2 پیشگویی شده^۲ و دقت کافی^۳ انتخاب و در در نهایت مدل‌های پیشگو ارائه گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ بازده تولید

محدوده مقادیر بدست آمده در این آزمون ۳۲ الی ۴۷/۵٪ می‌باشد که کمترین میزان بازدهی تولید مربوط به پودر عصاره گل گاو زبان پوشش داده شده با مالتودکسترین است که در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد خشک شده است و بیشترین میزان بازدهی تولید مربوط به نمونه‌های تولیدی با مالتودکسترین حاوی پروتئین آب پنیر خشک شده در دمای ۱۶۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود تاثیر دمای هوای خشک کن بر بازدهی تولید بسیار معنی دار بوده است ($p < 0/001$) و با افزایش دمای هوای فرآیند منجر به افزایش مقدار این شاخص گردید (شکل ۱). تاثیر افزایش دما را می‌توان به دلیل افزایش ضریب (تأثیر یا کارایی) انتقال هم زمان جرم و انرژی و 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 [21]. همچنین تاثیر ترکیبات پوشش دهنده بر بازدهی تولید معنی دار ($p < 0/05$) بود (جدول ۱) که بیانگر این است که استفاده از پروتئین آب پنیر و مالتودکسترین بر بازدهی

1 -Adjusted R2

2 -Predicted R2

3 -Adequate precision

Table 1- The P-values obtained from the ANOVA of the obtained data from the performed tests on the micro-coated *Echium amoenum* flower powder.

Source	Yield	Moisture	Bulk density	Tapped density	Solubility	Wettability	Repose angle	Hygroscopicity
Model	0.005**	P<0.0001***	P<0.0001***	P<0.0001***	P<0.0001***	P<0.0001***	P<0.0002***	P<0.0001***
A:Temperature	0.0005***	P<0.0001***	P<0.0001***	P<0.0001***	0.089	0.001**	P<0.0001***	P<0.0001***
B:Coating component	0.05*	P<0.0001***	P<0.0001***	P<0.0001***	P<0.0001***	P<0.0001***	0.0028**	0.00041***
AB	0.815	0.0136*	0.0088**	0.0028**	0.201	0.0202*	0.86	0.736
R ²	0.71	0.95	0.94	0.98	0.943	0.97	0.83	0.88
Adj R ²	0.59	0.93	0.91	0.97	0.91	0.96	0.77	0.82
Pred R ²	0.34	0.89	0.86	0.96	0.87	0.94	0.63	0.72
Adeq Precision	6.44	17.29	15.67	34.45	16.11	24.73	10	11.09

* $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$;

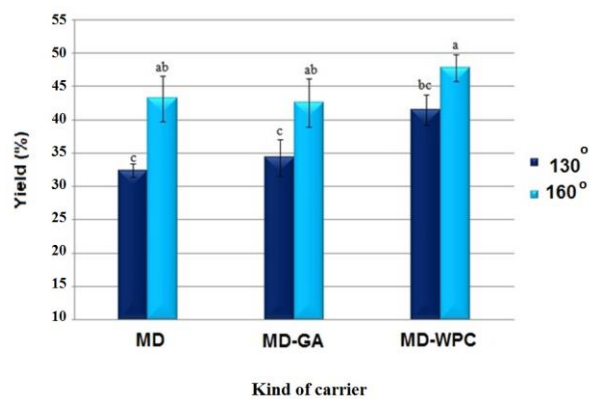
۳-۲ مقدار رطوبت

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود مقدار شاخص رطوبت بین ۲/۱ - ۳/۲ درصد بود. به طوری که بیشترین رطوبت مربوط به گل گاو زبان خشک شده با ترکیب مالتودکستین و پروتئین در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد و کمترین رطوبت مربوط به گل گاو زبان خشک شده با مالتودکستین در دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۱) که مقدار رطوبت پودرها به طور بسیار معناداری ($P < 0.0001$) تحت تاثیر دمای خشک کردن قرار گرفت بدین ترتیب که با افزایش دما محتوی رطوبت کاهش یافت (شکل ۲). کاهش رطوبت پودرها در نتیجه افزایش دمای هوای ورودی به علت افزایش اختلاف دما بین قطرات اتمیزه شده و هوای خشک کن است که موجب افزایش سرعت تبخیر رطوبت می‌شود [23]. که با نتایج سایر محصولات تحقیق شده روی کاهش رطوبت پودر تمر هندی [30]، اسانس پونه کوهی [31]، کنسانتره آب پرتغال [32] و آب هندوانه [27] مشابهت داشت. همچنین برهمکنش نوع حامل و دمای خشک کردن نیز بر محتوی رطوبت اثر معنی دار ($P < 0.0001$) داشت. نتایج بدست آمده نیز حاکی از تفاوت معنی دار ($P < 0.0001$) بین سه ترکیب پوشش دهنده داشت. اثر گذاری مخلوط پروتئین آب پنیر با

در انتخاب مدل پیشگو برای محاسبه بازدهی، رابطه ۱ توسط نرم افزار ارائه شده است که این مدل 2FI بوده و معنی دار ($P < 0.0005$) (جدول ۱) بود. باوجود این که اختلاف مقادیر دو پارامتر R^2 اصلاح شده و R^2 پیشگویی شده کمی بیشتر از ۰/۲ بوده و هردوی آنها کمتر از ۰/۹ می باشند که این دو از نشانه های ضعف مدل پیشگو است اما باتوجه به مقدار نسبتا خوب و همچنین شاخص دقت کافی بالاتر از ۴ (۶/۴۴) مدل پیشگو تا حدودی می تواند قابل قبول باشد.

رابطه (۱):

$$\text{Yield} = 40.03 + 4.52 * A - 2.23 * B[1] - 1.56 * B[2] + 0.89 * AB[1] - 0.37 * AB[2]$$

Fig 1 Changes in yield product in different sample *Echium amoenum* powder

شده بترتیب به میزان $0.323/0$ و $0.533/0$ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. با توجه به نتایج آنالیز واریانس بدست آمده (جدول ۱) درجه حرارت خشک کردن تاثیر بسیار معنی داری ($P<0.0001$) بر مقادیر دانسیته توده و دانسیته ضربه داشت. همچنین تاثیر متقابل نوع حامل و دمای خشک کردن نیز بر آزمون های یاد شده معنی دار ($P<0.0001$) بود. تفاوت نتایج دانسیته توده و ضربه بواسطه نوع حامل ها معنی داری بالایی ($P<0.0001$) داشت. در میان حامل های بکار رفته، مالتودکسترین بیش از حامل های صمغ عربی و WPC باعث افزایش دانسیته توده پودرهای تولید شده شد. علت آن نیز ویسکوزیته کمتر خوراک تولید شده با مالتودکسترین در مقایسه با دو حامل دیگر است زیرا با کاهش ویسکوزیته حجم هوای محبوس شده کاهش یافته و ذرات تولیدی ریزتر می گردند که این امر فشردگی توده را افزایش می دهد که با نتایج تحقیق بوساری و همکاران [24] مشابهنه داشت.

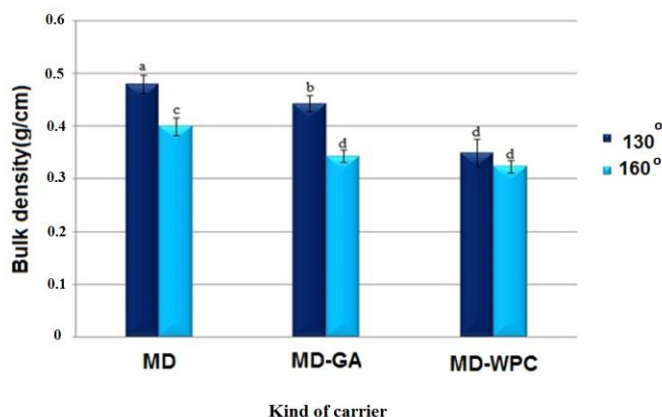


Fig 3 Changes in bulk density in different sample *Echium amoenum* powder

افزایش درجه حرارت هوای خشک کردن باعث کاهش دانسیته توده می شود، زیرا امکان تولید ذرات توخالی و پوک با چروکیدگی کم افزایش می یابد که در نتیجه اندازه ذرات بزرگتر شده و تخلخل و فضای خالی بین ذرات بیشتر می شود. به طور کلی دانسیته ضربه بیشتر از دانسیته توده می باشد. اندازه ذره عامل مؤثر در دانسیته ضربه ای می باشد، اگر درصد ذرات درشت موجود در پودر بیشتر باشد در اثر

مالتودکسترین بر محتوی رطوبتی نمونه ها بیشتر از مخلوط مالتودکسترین با صمغ عربی بود و هردو مخلوط نیز بیشتر از مالتودکسترین به تنهایی بودند (شکل ۲).

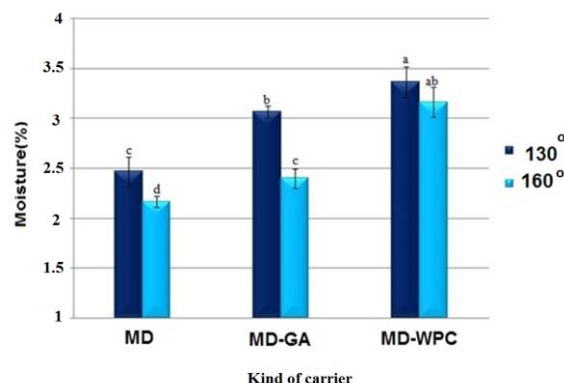


Fig 2 Changes in moisture in different sample *Echium amoenum* powder

رابطه ۲ که یک مدل 2FI می باشد مدل پیشگوی ارائه شده توسط نرم افزار برای محاسبه رطوبت است که معنی داری بالایی ($p<0.0001$) دارد و بیانگر معنی دار بودن یک یا چند متغیر موجود در مدل می باشد. باتوجه به این که اختلاف مقادیر دو پارامتر R^2 اصلاح شده و R^2 پیشگویی شده کمتر از $0.2/0$ بوده و مقادیر آنها بالاتر از $0.8/0$ می باشند و همچنین شاخص دقت کافی بالاتر از ۴ می باشد ($17/29$) لذا مدل پیشگو مطلوب بوده و می تواند مورد استفاده قرار گیرد. رابطه (۲):

$$\text{Moisture} = +2.77 - 0.19 * A - 0.46 * B[1] - 0.039 * B[2] + 0.044 * AB[1] - 0.14 * AB[2]$$

۳-۳ دانسیته توده و دانسیته ضربه

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود بیشترین دانسیته توده و دانسیته ضربه مربوط به نمونه های حاوی مالتودکسترین خشک شده در دمای 130° درجه سانتی گراد بترتیب به میزان $0.48/0$ و $0.726/0$ گرم بر سانتی متر مکعب و کمترین دانسیته توده و دانسیته ضربه مربوط به تیمار حاوی مالتودکسترین و پروتئین آب پنیر که در دمای 160° درجه سانتی گراد خشک

رابطه (۴):

$$\text{Tapped density} = +0.62 - 0.044 * A + 0.054 * B[1] - 2.778E-003 * B[2] - 0.013 * AB[1] + 5.556E-004 * AB[2]$$

۴-۳-حلالیت

مقادیر حلالیت پودرهای تولید شده در محدوده بین حداقل ۸۶ و حداکثر ۹۸ درصد بود که بیشترین میزان انحلال پذیری مربوط به نمونه تولید شده با مالتودکستریزین در دمای 160°C و کمترین آن مربوط به نمونه تولید شده با پروتئین در ترکیب با مالتودکستریزین در دمای 130°C بودند (شکل ۵). همچنین تفاوت حلالیت در بین نمونه های تولید شده با انواع ترکیبات پوشش دهنده بسیار معنی داری ($p < 0.0001$) بود (جدول ۱). نمونه های پوشش داده شده با مالتودکستریزین حلالیت بیشتر از خود نشان دادند و مشخص شده که کمترین میزان حلالیت مربوط به حامل مالتودکستریزین مخلوط شده با پروتئین آب پنیر بود که [16] علت این نتیجه به افزایش اندازه و فضای بین ذرات و متعاقب آن تسهیل نفوذ رطوبت به ساختار پودر ها نسبت دادند. برهمکنش دمای هوای خشک کن و نوع ترکیب حامل بر حلالیت پودرهای حاوی عصاره گل گاوزبان خشک شده به روش پاششی تاثیر معنی داری را از خود نشان نداد (جدول ۱).

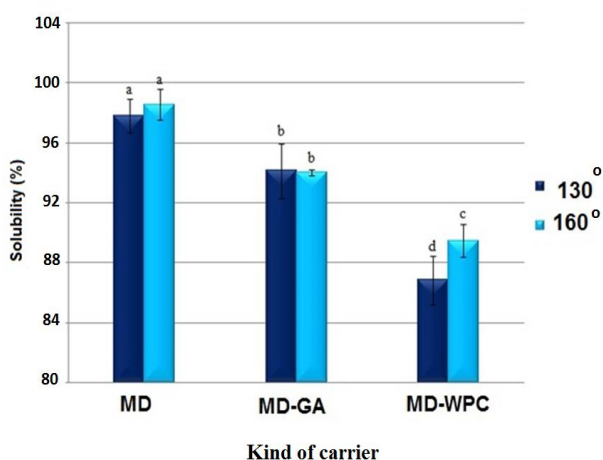


Fig 5 Changes in solubility in different sample *Echium amoenum* powder

ضربه، حجم تغییر زیادی پیدا نمی کند. اما اگر علاوه بر ذرات درشت، ذرات ریز هم با نسبت مشابه در پودر وجود داشته باشد در اثر ضربه، ذرات ریز فضای بین ذرات درشت را اشغال کرده و در نتیجه تغییر حجم افزایش یافته و دانسیته ضربه ای بیشتر می شود. از دیگر عوامل مؤثر بر دانسیته توده رطوبت پودر می باشد، به گونه ای که با افزایش درجه حرارت رطوبت کاهش یافته و ذرات سبک تر شده و در نتیجه دانسیته توده کاهش می یابد [17&25].

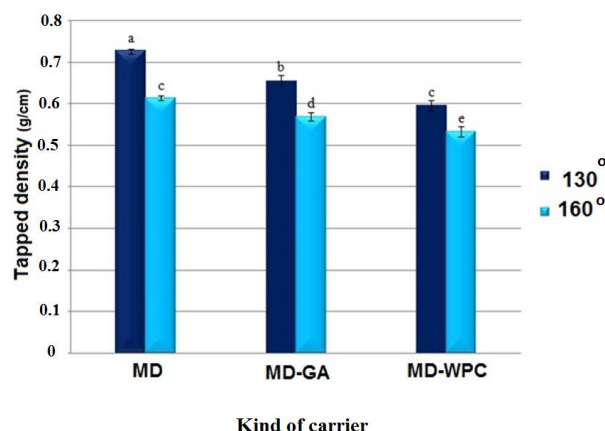


Fig 4 Changes in tapped density in different sample *Echium amoenum* powder

رابطه ۳ و ۴ مدل های پیشگوی 2FI می باشند که بترتیب برای محاسبه دانسیته توده و دانسیته ضربه توسط نرم افزار ارائه شده است که معنی داری بالایی ($p < 0.0001$)، جدول ۱) دارند. باتوجه به این که مقادیر دو پارامتر R^2 اصلاح شده و R^2 پیشگویی شده در هردو ویژگی با لا بوده و تفاضل آنها بسیار کمتر از ۰/۲ می باشند و همچنین شاخص دقت کافی بالاتر از ۴ می باشد (به ترتیب برای دانسیته توده و دانسیته ضربه ۱۵/۶۷ و ۳۴/۴۵) لذا این مدل ها مطلوبیت لازم را داشته و می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در خصوص دقت مدل های برآورده مدل دانسیته توده نسبت به دانسیته ضربه از دقت بالاتری برخوردار است.

رابطه (۳):

$$\text{Bulk density} = +0.39 - 0.034 * A + 0.050 * B[1] + 3.333E-003 * B[2] - 5.556E-003 * AB[1] - 0.016 * AB[2]$$

بین ذرات و متعاقب آن تسهیل نفوذ رطوبت به ساختار پودر ها گزارش شد [16]. مشابه با نتایج این تحقیق، جایگزینی ایزوله پروتئین آب پنیر با مالتودکسترین یا اینولین موجب کاهش زمان نم‌پذیری اسانس رزماری کپسوله شده توسط خشک کردن پاششی به ترتیب از ۲۶ به ۱۳۰ و ۱۱۲ ثانیه گردید [28].

رابطه ۶ یک مدل پیشگو 2FI می‌باشد که برای محاسبه رطوبت توسط نرم افزار ارائه شده است. باتوجه به این که اختلاف مقادیر دو پارامتر R^2 اصلاح شده و R^2 پیشگویی شده کمتر از ۰/۲ بوده و هردوی آنها بالاتر از ۰/۹۴ می باشند که بسیار مطلوب می باشد و همچنین شاخص دقت کافی بالاتر از ۴ می‌باشد (۲۴/۷۳) لذا مدل پیشگو می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

رابطه (۶):

$$\text{Wettability} = +19.16 - 3.38 * A - 14.91 * B[1] - 9.56 * B[2] + 2.26 * AB[1] + 1.38 * AB[2]$$

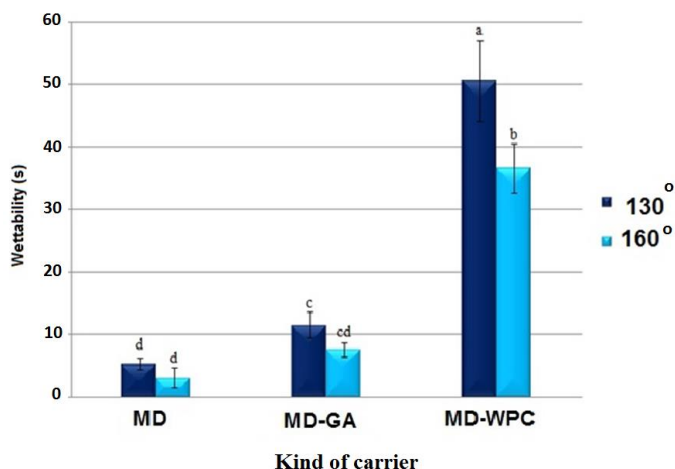


Fig 6 Changes in wettability in different sample *Echium amoenum* powder

۳-۶- جریان پذیری^۲

در این ویژگی مقادیر بدست آمده در محدوده ۲۸/۵ و ۳۷/۹ درجه لغزش قرار داشت به طوری که کمترین تاثیر مربوط به ترکیب مالتودکسترین با پروتئین خشک شده در دمای

مشابه این تحقیق نیز برتری مالتودکسترین [26] را در مقایسه با دیگر پوشش ها در افزایش حلالیت نمونه ها مشخص شد و تاثیر مالتودکسترین، سلولز، نشاسته مومی و مخلوط آن‌ها را بر حلالیت پودرهای سس سویا خشک شده به روش پاششی بررسی شد که بیشترین میزان حلالیت (۹۷/۹٪) مربوط به پودرهای تولید شده با مالتودکسترین بود. هرچند در تحقیق دیگری کاهش حلالیت پودرهای آب هندوانه و انبه تحت تاثیر افزایش دما و غلظت مالتودکسترین مشاهده شد [27].

مدل پیشگو ارائه شده توسط نرم افزار برای محاسبه حلالیت، رابطه ۵ است که این مدل 2FI بوده و معنی دار ($p < 0.001$) بود. مطلوب بودن مدل ارائه شده با ویژگیهایی چون کمتر بودن اختلاف مقادیر دو پارامتر R^2 اصلاح شده و R^2 پیشگویی شده از ۰/۲ که در این آزمون ۰/۴ بوده و همچنین بالاتر بودن شاخص دقت کافی از ۴ می باشد که در این آزمون ۱۶/۱۱ بود لذا مدل ارائه شده می تواند مورد استفاده واقع شود (جدول ۱).

رابطه (۵):

$$\text{Solubility} = +93.47 + 0.55 * A + 4.71 * B[1] + 0.61 * B[2] - 0.17 * AB[1] - 0.60 * AB[2]$$

۳-۵- نم پذیری^۱

مقادیر این ویژگی از کمینه ۲/۲ ثانیه (کمترین زمان نم پذیری) که مربوط به نمونه پوشش داده شده با مالتودکسترین خشک شده در ۱۶۰ درجه سانتیگراد تا بیشینه ۵۷/۸ ثانیه (بیشترین زمان نم‌پذیری) که مربوط به نمونه پوشش داده شده با مالتودکسترین/پروتئین آب پنیر بود تفاوت داشت (شکل ۶). همچنین نتایج آنالیز تجزیه واریانس (جدول ۱) حاکی از تاثیر معنی دار متغیر دمای خشک کن ($p = 0.001$)، نوع پوشش ($P < 0.0001$) و برهمکنش دما و نوع پوشش ($P < 0.05$) بر مقدار این شاخص‌ها بودند. بدین معنی که کاهش زمان نم‌پذیری و نفوذ آب به درون ذرات با افزایش دمای هوای خشک کردن مشاهده شد که بدلیل افزایش اندازه ذرات و تخلخل بود. علت این نتیجه افزایش اندازه و فضای

رطوبت پودر ها نیز در بهبود جریان پذیری نقش ایفا می کنند [35].

رابطه ۷ که یک مدل 2FI می باشد مدل پیشگوی ارائه شده توسط نرم افزار برای محاسبه جریان پذیری است. باتوجه به این که اختلاف مقادیر دو پارامتر R^2 اصلاح شده و R^2 پیشگویی شده ۰/۱۴ است که کمتر از ۰/۲ بوده و مقادیر آنها بالاتر از ۰/۸ می باشند و همچنین شاخص دقت کافی بالاتر از ۴ می باشد (۱۰) لذا مدل پیشگو مطلوب بوده و می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

رابطه (۷):

$$(\text{Repose angle})^{-0.77} = +0.069 + 3.274E-003 * A - 2.970E-003 * B[1] + 5.122E-004B[2] + 1.311E-004 * AB[1] - 3.849E-004 * AB[2]$$

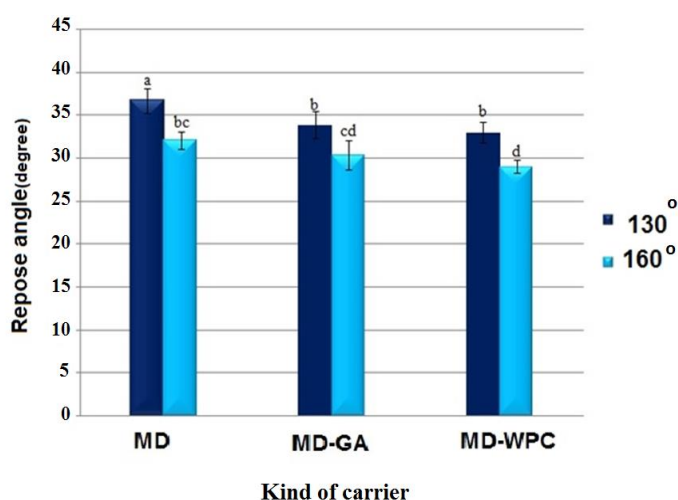


Fig 7 Changes in repose angel in different sample *Echium amoenum* powder

۳-۷ تاثیرات جاذب الرطوبگی^۱

تعیین ویژگی جاذب الرطوبه بودن پودرها به منظور پیش بینی پایداری فیزیکی شیمیایی، کارکردن با آن طی مراحل مختلف فراوری و نیز تعیین شرایط بسته بندی بسیار حائز اهمیت است. همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود کمترین جاذب الرطوبگی مربوط به نمونه پوشش داده شده با مالتودکسترین و

۱۶۰ درجه سانتیگراد و بیشترین تاثیر مربوط به مالتودکسترین خشک شده در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد می باشد. (شکل ۷). آنالیز تجزیه واریانس داده ها حاکی از تاثیر معنی دار دمای خشک کن ($p < 0.0001$) و نوع ترکیب حامل ($p = 0.0028$) بر زاویه ریپوز بعنوان شاخص جریان پذیری پودرهای حاوی گل گاوزبان خشک شده به روش پاششی دارد. افزایش دما باعث کاهش زاویه لغزش گردید و حضور پودر آب پنیر باعث کاهش زاویه لغزش شد. افزایش دما سبب کاهش رطوبت و افزایش جریان پذیری می گردد. افزایش رطوبت نیز با افزایش پلاستیسیت سیستم، ایجاد پلهای مایع یا جامد پس از کریستالیزاسیون مجدد یا خشک کردن سبب افزایش چسبیدن پودرهای غذایی می شود. بدین علت که زاویه ریپوز بطور منظم با افزایش مقدار رطوبت پودرها، افزایش می یابد [26]. علت تفاوت بین تیمارها را میتوان به تفاوت در اندازه بزرگتر و مورفولوژی سطحی ذرات و همچنین جاذب الرطوبگی کمتر پودرهای تولید شده با پروتئین در دمای هوای بالاتر نسبت داد. زاویه ریپوز با اندازه ذرات پودری ارتباط مستقیمی دارد و هر اندازه ذرات بیشتر شود زاویه ریپوز افزایش یافته و جریان پذیری کم می شود [16] و از آنجا که حامل مالتودکسترین اندازه ذرات بزرگتری را نسبت به صمغ عربی و صمغ عربی اندازه بزرگتری از پروتئین آب پنیر را ایجاد میکند و این امر باعث بیشتر شدن زاویه ریپوز می شود. یافته های فوق با نتایج حاصل از تحقیق سرابندی و پیغمبر دوست مشابهت دارد بدین ترتیب که افزایش جریان پذیری پودر عصاره مالت را تحت تاثیر افزایش غلظت مالتودکسترین، دمای هوای ورودی و اندازه ذرات در برخی از تیمارها تولید شده مشاهده کردند [33]. اثر افزایش غلظت حامل از طریق افزایش ویسکوزیته و اندازه ذرات تولیدی، کاهش سطح تماس، اتصالات، واکنش ها، چسبیدن ذرات مجاور بهبود جریان پذیری پودر ها می شود [34]. از سوی دیگر، افزایش دمای هوای ورودی و غلظت حامل از طریق کاهش

¹ Hygroscopicity

بالتر از ۴ می باشد (۱۱/۰۹) لذا مدل پیشگو مطلوب بوده و می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

رابطه (۸):

$$\text{Hygroscopicity} = +16.29 + 1.59^* A + 1.66^* B[1] - 0.43^* B[2] - 0.14^* AB[1] + 0.24^* AB[2]$$

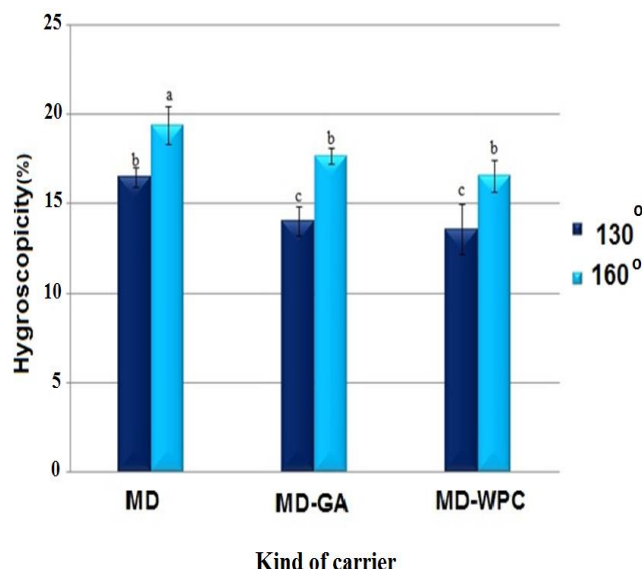


Fig 8 Changes in Hygroscopicity in different sample *Echium amoenum* powder

۴- نتیجه گیری

بازده تولید به عنوان اصلی ترین معیار ارزیابی کارایی و اقتصادی بودن فرآیند و همچنین، کلیه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی (مقدار رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته توده، ضربه و...)، عملکردی شاخص (شاخص انحلال پذیری)، شاخص جریان پذیری، شاخص پایداری به شرایط محیطی (جاذب الرطوبگی) و ریزساختار ذرات پودر تولیدی به طور کامل تحت تاثیر پارامترهای فرآیند تولید (دمای هوای ورودی و ترکیب حامل ها به کمک خشک کن) قرار می گیرند. در بین دماهای ورودی مختلف، دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد بالاترین اثر را بر ویژگی های فوق گذاشت. در مجموع در بین متغیرهای حامل مالتودکسترین و پروتئین آب پنیر به کار

پروتئین آب پنیر خشک شده در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد به میزان ۱۲/۱ درصد و بیشترین جاذب الرطوبگی مربوط به تیمار حاوی مالتودکسترین که در دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد خشک شده به میزان ۲۰/۵ درصد بود. همانطور که در نتایج آنالیز واریانس داده ها در جدول ۱ مشاهده می شود متغیرهای درجه حرارت خشک کردن و ترکیبات پوشش دهنده دارای مقادیر $p < 0.0001$ و 0.00041 بودند که معنی داری بالایی داشتند. با کاهش سهم مالتودکسترین در پوشش ها میزان جاذب الرطوبگی کاهش یافت. جاذب الرطوبگی با اندازه ذرات پودری ارتباط مستقیمی دارد و با توجه به افزایش اندازه ذرات و فضای خالی بین ذرات مالتودکسترین نسبت به صمغ عربی و صمغ عربی نسبت به پروتئین آب پنیر باعث افزایش سرعت نفوذ پذیری آب و در نتیجه کاهش شاخص جاذب الرطوبگی می شود [16]. یافته های این تحقیق موافق با بررسی های انجام گرفته در خصوص اثر افزایش مقدار حامل بر کاهش جاذب الرطوبه بودن پودر آکایی [36]، عصاره تفاله آسیرولا به ویژه با افزایش جایگزینی مالتودکسترین با صمغ درخت بادام زمینی [37]، پالپ تمبر [38] و آب چغندر قند [39] بود.

همچنین با افزایش دمای هوای خشک کن، مقدار این شاخص افزایش یافت. اثر افزایش دمای هوای ورودی نیز بر کاهش رطوبت پودرهای حاصل، از طریق افزایش اختلاف رطوبت بین ماده و محیط اطراف موجب بیش تر شدن شاخص جاذب الرطوبگی می شود [40] نتایج حاصل از این تحقیق با سایر پژوهشهای صورت یافته درخصوص تاثیر دما و حامل بر قابلیت جذب رطوبت پودرهای آب چغندر قند [7]، آب میوه جامون [16]، کاکتوس [40] مطابقت دارد.

رابطه ۸ که یک مدل 2FI می باشد مدل پیشگوی ارائه شده توسط نرم افزار برای محاسبه جاذب الرطوبه بودن است. باتوجه به این که مقادیر دو پارامتر R^2 اصلاح شده و R^2 پیشگویی شده به ترتیب اختلاف ۰/۸۲ و ۰/۷۲ بوده و اختلاف آن دو ۰/۱ است و همچنین شاخص دقت کافی

مقدار رطوبت، دانسیته توده و ضربه، حلالیت، نم‌پذیری و جاذب‌الرطوبگی ذرات شد.

رفته در این تحقیق، نمونه‌های تولید شده با حامل در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد بهترین نتیجه را از نظر بازده تولید، نم‌پذیری، جریان‌پذیری، رطوبت، دانسیته توده و ضربه دارا بود و همچنین استفاده از پروتئین بعنوان حامل منجر به کاهش

۵- منابع

- [1] Miceli, A., Aleo, A., Corona, O., Sardina, M. T., Mammìna, C., & Settanni, L. (2014). Antibacterial activity of *Borago officinalis* and *Brassica juncea* aqueous extracts evaluated in vitro and in situ using different food model systems. *Food control*, 40, 157-164.
- [2] Fernandes, L., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., Ramalhosa, E., & Casal, S. (2019). Phytochemical characterization of *Borago officinalis* L. and *Centaurea cyanus* L. during flower development. *Food Research International*, 123, 771-778.
- [3] Zemmouri, H., Ammar, S., Boumendjel, A., Messarah, M., El Feki, A., & Bouaziz, M. (2019). Chemical composition and antioxidant activity of *Borago officinalis* L. leaf extract growing in Algeria. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 1954-1963.
- [4] Bell, L. N. 2001. Stability testing of nutraceuticals and functional foods. In: Wildman R. E. C. (eds.), *Handbook of nutraceuticals and functional foods*. CRC Press, New York. 501-516.
- [5] Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2019). Advances in spray-drying encapsulation of food bioactive ingredients: from microcapsules to nanocapsules. *Annual Review of Food Science and Technology*, 10.
- [6] Sarabandi, K., Gharehbaglou, P., & Jafari, S. M. (2020). Spray-drying encapsulation of protein hydrolysates and bioactive peptides: Opportunities and challenges. *Drying Technology*, 38(5-6), 577-595.
- [7] 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.
- [8] Fang, Z. X., & Bhandari, B. (2011). Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129, 1139-1147.
- [9] Ersus, S., Yurdagel, U., (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *J. Food Eng.* 80, 805-812.
- [10] Langrish, T.A.G., 2007. New engineered particles from spray dryers: research needs in spray drying. *Drying Technology* 25 (4-6), 971-983.
- [11] Goula A.M. and Adamopoulos K.G.(2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air:1. Drying kinetics and product recovery. *Drying Technology*, 26, 714-725.
- [12] Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.
- [13] Ozdikicierler, O., Dirim, S. N., & Pazir, F. (2014). The effects of spray drying process parameters on the characteristic process indices and rheological powder properties of microencapsulated plant (*Gypsophila*) extract powder. *Powder Technology*, 253, 474-480.
- [14] Rajabi, H., Ghorbani, M., Jafari, S. M., Mahoonak, A. S., & Rajabzadeh, G. (2015). Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food hydrocolloids*, 51, 327-337.
- [15] 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 and Bioproducts Processing*, 97, 20-29.

- [16]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 Technology*, 274, 37-43.
- [17]Goula A.M. and Adamopoulos K.G.(2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air:1. Drying kinetics and product recovery. *Drying Technology*, 26, 714-725.
- [18]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 Science and Emerging Technologies* 6 ,420 – 428
- [19]Bhandari, B. R., Datta, N., D'Arcy, B. R., & Rintoul, G. B. (1998). Co-crystallization of honey with sucrose. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 31(2), 138–142.
- [20]Sarabandi, K., Peighambardoust, 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. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1602-1612.
- [21]Fang, Z. X., & Bhandari, B. (2011). Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chemistry*, 129, 1139–1147.
- [22]Wang, W., Jiang, Y., & Zhou, W. (2013). Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 724-730.
- [23]Tonon, R.V., Brabet, C., Hubinger, M.D., 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpeoleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *J. Food Eng.* 88, 411–418.
- [24]Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder technology*, 266, 354-364.
- [25]Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2007). Spray dryer parameters for fruit juice drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), 230-236.
- [26]Wang, W., Zhou, W., 2015. Characterisation of spray dried soy sauce powders made by adding crystalline carbohydrates to drying carrier. *Food Chem.* 168, 417–422.
- [27]Quek, S. Y., Chok, N. K. and Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, 46, 386–392.
- [28]Fernandes, L., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., Ramalhosa, E., & Casal, S. (2019). Phytochemical characterization of *Borago officinalis* L. and *Centaurea cyanus* L. during flower development. *Food Research International*, 123, 771-778.
- [29]Vidović, S. S., Vladić, J. Z., Vaštag, Ž. G., Zeković, Z. P., & Popović, L. M. (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
- [30]Muzaffar, K., Kumar, P. (2015). Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technol.*, 279, 179-184.
- [31]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.
- [32]Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2012). A method for pomegranate seed application in food industries: seed oil encapsulation. *Food Bioprod Process.*, 90, 639-652.
- [33]Sarabandi, K., Peighambardoust, S. H., (2017). The effect of some production parameters and storage time on the flow characteristics of spray-dried malt extract powder *Journal of Nutritional Sciences and Food Industries of Iran.* ,1 ,51-60.
- [34]Bhusari, S. N., Muzaffar, K., Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical

- and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technol.*, 266, 354-364.
- [35]Jinapong, N., Supphantharika, M., Jamnong, P.(2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *J. Food Eng.*, 84, 194-205.
- [36]Tonon, R. V., Brabet, C., and Hubinger, M. D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88:411-418.
- [37]Moreira, G. É. G., Costa, M. G. M., de Souza, A. C. R., de Brito, E. S., de Medeiros, M. D. F. D., and de Azeredo, H. M. 2009. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT-Food Science and Technology*, 42: 641-645.
- [38]Islam, M.Z., Kitamura, Y., Yamano, Y. and Kitamura, M. 2016. Effect of vacuum spray drying on the physicochemical properties, water sorption and glass transition phenomenon of orange juice powder. *Journal of Food Engineering*, 169: 131-140.
- [39]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: 21-27.
- [40]Rodríguez-Hernández, G. R., González-García, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera, M. A., Abud- Archila, M. (2005). Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Dry Technol.*, 23, 955-973.



Scientific Research

Investigation of physicochemical properties of Echium amoenum flower extract produced with different carriers by spray drying method

Sabeti A.¹, Fadavi A.^{2*}, Arabshahi Delouee S.³, Seraj A.⁴, Shahi T.⁵

1- PhD student, Department of Food Science and Technology, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran

2-*Corresponding author; Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

4- Assistant Professor, Department of animal science, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

5- Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Azadshahr Branch, Islamic Azad University, Azadshahr, Iran.

ABSTRACT

ARTICLE INFO

In this research, the effect of inlet air temperature (130 and 160°C), type and composition of carriers (maltodextrin, Arabic gum and whey protein concentrate (WPC)) on yield, moisture, bulk density and impact, solubility, wettability, flowability (angle of repose) and hygroscopicity of spray dried borage flower extract were investigated. In all tests, atomizer speed, feed flow rate, feed temperature, and atomizer air pressure were kept constant at 18000 rpm, 10 ml/min, 30 ± 1 °C, and 4 ± 0.1 bar, respectively. The minimum significant difference was calculated at less than (P<0.05) using SPSS software. The results showed that the highest production efficiency (48%) was achieved in dried samples with the combination of maltodextrin and WPC. While the use of protein as a carrier led to a decrease in the amount of moisture, mass and impact density, solubility, wettability and hygroscopicity of particles. The optimization results using the estimated models indicated that the highest solubility and the lowest hygroscopicity are created in the powder dried at 130 degrees Celsius with maltodextrin and arabic gum carriers.

Article History:

Received: 2023/1/10

Accepted: 2023/7/9

Keywords:

Echium amoenum flower extract,

Maltodextrin

Arabic gum,

Whey protein concentrate

Spray drier.

DOI: 10.22034/FSC.T.20.139.220

DOR: 20.1001.1.20088787.1402.20.139.16.0

*Corresponding Author E-Mail:

Fadavi.ac.ir@gmail.com