



تأثیر فرایند هم‌تبلوری بر ویژگی‌های شیمی-فیزیکی و عملکردی پودرهای ساکارز حاوی عصاره برگ زیتون

مهديه اکبری^{۱*}، علیرضا صادقی ماهونک^۲، محمد قربانی^۲، مهدی کاشانی نژاد^۳، خشایار سرابندی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

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

۳. استاد، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴. دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۶، تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۳۰)

چکیده

در این تحقیق اثر فرایند هم‌تبلوری و غلظت‌های مختلف عصاره بر خواص شیمی-فیزیکی و عملکردی پودرهای ساکارز حاوی عصاره برگ زیتون ارزیابی شد. بازده فرایند، ظرفیت بارگیری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویژگی‌های فراورده هم‌متبلور یعنی رطوبت، فعالیت آبی، چگالی توده و ضربه، انحلال‌پذیری و جذب رطوبت و نیز ویژگی‌های جریان‌پذیری پودرهای حاصل یعنی شاخص تراکم‌پذیری، نسبت هاسنر و زاویه ریپوز مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بررسی بیش‌ترین ظرفیت بارگیری به میزان ۱/۱۷۸ میلی‌گرم اسیدگالیک به ازای یک گرم پودر برای فراورده هم‌متبلور حاوی عصاره ۱۰٪ برگ زیتون به‌دست آمد، علاوه بر این، بازده ریزپوشانی ترکیبات فنولی عصاره برگ زیتون با این روش حدود ۸۹٪ بود. خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ زیتون طی فرایند هم‌تبلوری در برابر مهار رادیکال آزاد DPPH حفظ شد. تفاوت در اندازه ذرات فراورده هم‌متبلور تولیدی می‌تواند ویژگی‌های جریان‌پذیری محصول نهایی را به گونه‌ای معنی‌دار ($P < 0/05$) تحت تأثیر قرار دهد. به‌طور کلی مقادیر فعالیت آبی، درصد رطوبت، ویژگی‌های جریان‌پذیری و جذب رطوبت محصولات تولیدی، حاکی از کارآمد بودن این روش در تولید پودرهای با ویژگی‌های شیمی-فیزیکی و جریان‌پذیری مناسب با پایداری بالا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، جریان‌پذیری، زیست‌فعال، شیمی-فیزیکی، هم‌تبلوری.

1- مقدمه

به‌خوبی ثابت شده است. در بین سایر بخش‌های درخت، برگ یکی از غنی‌ترین منابع ترکیبات فنولی به شمار می‌آید [19، 20]. آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی قابلیت استفاده در طیف گسترده‌ای از فراورده‌های غذایی از قبیل محصولات پخته‌شده، بیسکویت‌ها، آدامس‌ها، اسنک‌ها، نوشیدنی‌های میوه‌ای، سس مایونز، فراورده‌های گوشتی، آجیل‌ها، روغن‌ها و چربی‌ها را دارا می‌باشند. با این حال اغلب عصاره‌های آبی به‌دست آمده از گیاهان دارای طعم ناخوشایند بوده و ترکیبات زیست‌فعال آن‌ها در برابر شرایط محیطی مختلف از قبیل نور، دما و اکسیژن، ناپایدار می‌باشند، بنابراین در حال حاضر تنها تعداد معدودی از عصاره‌های گیاهی در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [21-23]. اثرات نامطلوب استفاده از آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی از قبیل، ترشری بوتیل هیدروکسینون¹، هیدروکسی تولوئن بوتیل‌دار شده²، هیدروکسی آنیسول بوتیل‌دار شده³ به‌طور کامل شناخته شده است. بنابراین در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات فنولی طبیعی به‌واسطه خاصیت آنتی‌اکسیدانی و توان بالقوه سلامتی بخشی آن‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است [20، 24]. با توجه به این‌که تاکنون هیچ تحقیقی در رابطه با ریزپوشانی عصاره آبی برگ زیتون با استفاده از فرایند هم‌تبلوری صورت نگرفته است، هدف از این تحقیق، ریزپوشانی عصاره آبی برگ زیتون در ماتریس ساکارز طی فرایند هم‌تبلوری و نیز بررسی خصوصیات شیمی-فیزیکی پودر حاصل می‌باشد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- تهیه عصاره آبی برگ زیتون

در این تحقیق برگ‌های زیتون وارسته کرونایکی⁴ از واحد تحقیقات کشاورزی شهرستان کردکوی جمع‌آوری شد. پس از خشک شدن در دمای محیط، آسیاب و سپس در بسته‌های پلاستیکی زیپ‌دار مقاوم در برابر نفوذ هوا و رطوبت در فریزر با دمای 18- درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری شد.

هم‌تبلوری¹ با استفاده از ساکارز فرایندی اقتصادی و انعطاف‌پذیر می‌باشد که به‌منظور ریزپوشانی ترکیبات فعال ثانویه در ماتریس بلوری ساکارز توسعه پیدا کرده است [1]. گرانول‌های ساکارز بلورهای جامد و متراکمی می‌باشند. استفاده از ساکارز به‌عنوان ماده دیواره برای فرایند ریزپوشانی مستلزم آن است که ساختار کامل، جامد و متراکم بلورهای ساکارز به ساختار نامنظم و توده‌های تجمع یافته تغییر یابند، که منجر به شکل‌گیری بلورهایی در اندازه میکرو می‌گردد. در نتیجه افزایش ناحیه سطحی با ایجاد فضاهای خالی، یک ساختار متخلخل ایجاد شده که قادر است ترکیب فعال را در خود جای دهد [2، 3]. این فرایند از طریق مشاهده کدورت در شربت که در نتیجه شکل‌گیری توده‌های نامنظم است، قابل تشخیص می‌باشد. به‌طور معمول ترکیب ثانویه در زمان تبلور خودبه‌خودی و به دنبال آن خنک کردن به مخلوط افزوده می‌شود، علاوه بر این، همان‌طور که در مطالعات پیشین گزارش شده است، افزودن ترکیب ثانویه به شربت تغلیظ شده می‌تواند میزان یکنواختی در فراورده نهایی را افزایش دهد [4]. گرمای نهان تبلور طی این فرایند برای تبخیر رطوبت، به اندازه کافی بالا می‌باشد در نتیجه می‌توان به یک فراورده نهایی خشک دست یافت [3]. بنابراین با استفاده از این روش می‌توان ترکیبات فعالی که کار کردن با آن‌ها طی فرایند مشکل است را در حامل‌هایی با خصوصیات جریان‌پذیری مناسب قرار داد که قادرند مواد هسته را از اکسایش و سایر تغییرات شیمیایی نامطلوب تا زمان مصرف حفظ کنند [5، 6]. این فرایند قابلیت حلالیت، پخش‌شوندگی، مرطوب‌شوندگی، ضد کلوخه‌ای شدن، همگن‌بودن، جریان‌پذیری و نیز پایداری ماتریس غذایی را افزایش می‌دهد. با این وجود مطالعات کمی بر روی این روش صورت گرفته است [2، 5، 7-14]. ترکیب فعال مورد مطالعه در این تحقیق عصاره آبی برگ زیتون بود. درخت زیتون در طول قرن‌ها به‌عنوان یک منبع آنتی‌اکسیدانی طبیعی بسیار مورد توجه قرار گرفته است [15]. برگ زیتون سال‌ها است که به دلیل خواص دارویی و درمانی هم در طب سنتی و نیز مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرد [16-18]. امروزه خاصیت ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و دارویی برگ زیتون

1. tert-butyl hydroquinone (TBHQ)

2. butylated hydroxy toluene (BHT)

3. butylated hydroxy anisole (BHA)

4. Koroneiki

1. Co-crystallization

مقدار رطوبت از طریق معادله (1) محاسبه گردید [25].

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

که در این رابطه M درصد رطوبت، W_1 وزن ظرف خالی، W_2 مجموع وزن پودر و ظرف، W_3 مجموع وزن ظرف و پودر خشک شده بعد از قرار دادن در آون و رسیدن به وزن ثابت می‌باشد. فعالیت آبی پودر نیز با استفاده از دستگاه aw متر (ساخت سوئیس، شرکت نواسینا، مدل AW SPRINT TH-500) تعیین شد. دستگاه یک ساعت قبل از خواندن فعالیت آبی نمونه‌ها جهت کالیبراسیون روشن گردید. بعد از کالیبراسیون محفظه دستگاه تا محل تعیین شده (دو سوم حجم ظرف) پر شد و سپس فعالیت آبی نمونه‌ها در محدوده دمایی $25 \pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد خوانده شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار و میانگین آن‌ها گزارش شد.

2-5- جذب رطوبت

قابلیت جذب رطوبت پودر به شکل مقدار رطوبت (گرم آب جذب شده توسط 100 گرم پودر) طی 7 روز نگهداری در دمای 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی $RH=75\%$ در یک دسیکاتور با محلول اشباع سدیم کلراید تعیین گردید [26].

2-6- چگالی توده و چگالی حاصل از ضربه

چگالی توده از طریق افزودن تدریجی 2 گرم پودر هم‌تبلور عصاره برگ زیتون به استوانه مدرج و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، به صورت (گرم بر میلی‌لیتر) محاسبه گردید [27]. چگالی حاصل از ضربه نیز از طریق محاسبه نسبت وزن پودر به حجم خوانده شده از استوانه مدرج بعد از وارد کردن حدودا 100 ضربه متوالی به استوانه با میانگین تقریبی 60 ضربه در دقیقه و در نهایت ثابت شدن تغییرات حجم پودر در استوانه، تعیین گردید [28].

2-7- زاویه ریپوز

مقدار 25 گرم پودر را وزن کرده و از درون قیف با قطر

2-2- آماده‌سازی عصاره

به‌منظور تهیه عصاره آبی برگ زیتون، 3، 5 و 10 گرم از پودر برگ زیتون با 100 میلی‌لیتر آب به‌عنوان حلال مخلوط شد. سپس عصاره به مدت 40 دقیقه در حمام آب (ساخت آلمان، شرکت ممرت، مدل WNB22) و در دمای 95 درجه سانتی‌گراد استخراج شد. سپس عصاره حاصل سانتریفوژ (ساخت کره جنوبی، شرکت هانیل، مدل Cambi-514R) گردید و پس از صاف شدن در ظروف تیره در یخچال با دمای 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد [4].

2-3- تهیه پودر هم‌تبلور

ساکارز تجاری تهیه شده از بازار به‌منظور تهیه پودر هم‌تبلور مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور 10 میلی‌لیتر از عصاره آبی برگ زیتون با 50 گرم ساکارز مخلوط گردید. مخلوط حاصل در ظرف فلزی بر روی هیتر تا رسیدن به دمای 132 درجه سانتی‌گراد به صورت مداوم هم زده شد. با مشاهده کدورت جزئی در شربت، حرارت‌دهی متوقف شده، در صورتی که هم‌زدن تا زمان رسیدن مخلوط به دمای محیط ادامه یافت. سپس فراورده هم‌تبلور، به‌وسیله آون (ساخت آلمان، شرکت ممرت، مدل UFA500) در دمای 40 درجه سانتی‌گراد به مدت 15 ساعت خشک و سپس آسیاب شده و با استفاده از الک با مش‌هایی بین 0/25 تا 2 میلی‌متر الک شد. در نهایت ذرات باقی‌مانده بر روی الک با مش 0/2 و 0/5 میلی‌متر، در بسته‌های پلاستیکی مقاوم در برابر نفوذ هوا و رطوبت برای انجام آزمون‌های بعدی نگهداری شد. لازم به ذکر است که محلول فوق‌اشباع ساکارز فاقد عصاره که به روش فوق تهیه شده به‌عنوان نمونه شاهد برای انجام آزمون‌ها مورد استفاده قرار گرفت [4].

2-4- رطوبت و فعالیت آبی

2 گرم پودر در پلیت‌هایی که از قبل با قرار دادن در آون به وزن ثابت رسیده و توزین شده‌اند، ریخته شد و سپس پلیت‌ها در آون 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 2-3 ساعت قرار داده شد. در نهایت از آون خارج در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید. فرایند خشک شدن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت.

$$EY\% = \left(\frac{L_c}{L_0}\right) \times 100$$

(4) مجرای خروجی 12 میلی‌متر، در ارتفاع ثابت عبور داده تا بر روی یک سطح افقی صاف ریخته شده و تشکیل توده دهد. زاویه-ریپوز از طریق زاویه تشکیل شده به وسیله شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه می‌گردد [2].

که در این رابطه L_0 مقدار فنول کل عصاره برگ زیتون در یک گرم مخلوط خام اولیه می‌باشد [4].

8-2- نسبت هاسنر

2-12- ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر هم‌متبلور

نسبت هاسنر با استفاده از فرمول (2) محاسبه گردید که در آن TP (Tapped density) چگالی حاصل از ضربه و BD (Bulk density) چگالی توده می‌باشد [29].

$$HR = \frac{TD}{BD} \quad (2)$$

از آزاد با استفاده از DPPH انجام گرفت. برای این منظور یک گرم از فراوده هم‌متبلور در 10 میلی‌لیتر آب مقطر حل شد سپس 100 میکرولیتر از محلول با 3/9 میلی‌لیتر محلول اتانولی DPPH (25 mg DPPH/L) مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت 40 دقیقه در محل تاریک قرار گرفتند. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج 517 نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (ساخت انگلستان پی جی اینسترومنت مدل T80) خوانده شد. در نهایت درصد مهار رادیکال آزاد DPPH با استفاده از فرمول (5) محاسبه گردید [32].

$$I(\%) = \left(\frac{Abs_b - Abs_s}{Abs_b}\right) \times 100 \quad (5)$$

Abs_b که Abs جذب نمونه شاهد (بدون ترکیب موثر) و Abs_s جذب نمونه می‌باشند.

2-13- ویژگی‌های رنگی

ارزیابی خصوصیات رنگی پودرهای تولیدی با تعیین سه شاخص L^* ، a^* و b^* انجام گرفت. شاخص L^* بیانگر میزان روشنایی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا 100 (سفید خالص) متغیر است. شاخص a^* بیانگر میزان نزدیکی نمونه به رنگ‌های سبز و قرمز است و محدوده آن از +120 (قرمز مطلق) تا -120 (سبز مطلق) می‌باشد و b^* نشان‌دهنده میزان نزدیکی نمونه‌ها به رنگ‌های آبی و زرد بوده و محدوده آن از +120 (زرد مطلق) تا -120 (آبی مطلق) در نظر گرفته شده است. عکس‌برداری از نمونه‌ها با دوربین دیجیتال کانن با حساسیت 16 مگا پیکسل (powershot A3400) درون اتاقکی طراحی شده به‌منظور عکس‌برداری در شرایط ثابت انجام شد. از هر کدام از نمونه‌های پودر به‌طور جداگانه عکس گرفته شد و

2-9- شاخص تراکم‌پذیری

شاخص تراکم‌پذیری با استفاده از رابطه (3) محاسبه شد [30].

$$CI = 1 - \left(\frac{1}{HR}\right) \quad (3)$$

2-10- میکروسکوپ الکترونی روبشی¹ (SEM)

به‌منظور بررسی مورفولوژی و ساختار سطحی پودرهای هم‌متبلور به‌دست آمده، پس از تثبیت و پوشش‌دهی نمونه‌ها با استفاده از لایه نازکی از طلا، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (ساخت کشور کره جنوبی، شرکت پمترن، مدل PS-230) با بزرگنمایی 300 و جریان 10 کیلو ولت استفاده شد [10].

2-11- اندازه‌گیری ترکیبات فنولی کل

2-11-1- تعیین ظرفیت بارگیری و بازده ریزپوشانی

مقدار ترکیبات فنولی کل موجود به‌منظور تعیین ظرفیت بارگیری و بازده فرایند ریزپوشانی از طریق روش رنگ‌سنجی با فولین-سیوکالته در طول موج 765 نانومتر مورد بررسی قرار گرفت. منحنی استاندارد اسید گالیک با همین طول موج در دامنه غلظت 0/04 تا 0/4 میلی‌گرم در میلی‌لیتر رسم گردید [31].

ظرفیت بارگیری (L_c) بر اساس مقدار فنول کل عصاره برگ زیتون بارگیری شده در یک گرم پودر هم‌متبلور محاسبه شد. بازده ریزپوشانی نیز با استفاده از فرمول (4) محاسبه شد:

1. Scanning Electron Microscope

صورتی که میزان رطوبت، ترکیب آب در سیستم غذایی را نشان می‌دهد. فعالیت آبی بالا نشان می‌دهد که آب آزاد بیشتری برای واکنش‌های بیوشیمیایی در دسترس است که در نتیجه این امر زمان ماندگاری کاهش می‌یابد [38]. مقادیر محتوای رطوبتی و فعالیت آبی فراورده هم‌متبلور حاوی عصاره برگ زیتون در جدول (1) آورده شده است. لازم به ذکر است که رطوبت و فعالیت آبی aw برای پودر اولیه گرفته شده و تأثیر اندازه ذرات به دلیل عدم تأثیر متغیرها لحاظ نشده است. تفاوت معنی‌داری در میزان محتوای رطوبتی برای پودرها حاوی مقادیر مختلف عصاره مشاهده نشد ($P < 0/05$). فعالیت آبی پودر هم‌متبلور حاوی عصاره برگ زیتون نیز کم‌تر از 0/3 برای همه نمونه‌ها به دست آمد تفاوت معنی‌داری برای نمونه‌ها حاوی مقادیر مختلف عصاره و نیز نمونه شاهد مشاهده نشد. در یک بررسی محتوای رطوبتی را برای پودر هم‌متبلور ساکارز فاقد عصاره در حدود 0/079٪ و برای پودر هم‌متبلور ساکارز حاوی عصاره یربا مته به میزان 0/055٪ و فعالیت آبی برابر و کم‌تر از 0/47 نیز برای پودر گزارش شده است [10]. این مقادیر نشان دهنده ایمنی میکروبی فراورده می‌باشد. کاردوبا و همکاران نیز، میزان رطوبت و فعالیت آبی را برای پودر هم‌متبلور حاوی عصاره یربا مته، به ترتیب کم‌تر از 0/5٪ و 0/3٪ گزارش کردند [4].

3-2- جذب رطوبت

تعیین ویژگی جذب رطوبت پودر هم‌متبلور به منظور پیش‌بینی پایداری شیمی- فیزیکی پودر، کارکردن با آن طی مراحل مختلف فراوری و نیز تعیین شرایط بسته‌بندی بسیار حائز اهمیت است. جذب آب توسط فراورده منجر به تسریع واکنش‌های تخریبی می‌گردد. سرعت این واکنش‌ها متناسب با افزایش دما افزایش می‌یابد [39، 40]. مقادیر جذب رطوبت پودرها در جدول (1) آمده است. نتایج نشان داد میزان جذب رطوبت نمونه‌ها با افزایش میزان غلظت عصاره در پودر هم‌متبلور به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد ($P < 0/05$). که این امر را می‌توان به افزایش میزان عصاره بارگیری شده نسبت داد. به عبارت دیگر با توجه به جذب رطوبت بالای پودر عصاره برگ زیتون در حدود 13/52٪ و تخلخل سطحی و قرارگیری برخی

شد و عکس‌ها با فرمت JPEG ذخیره شدند. تجزیه و تحلیل نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image J صورت گرفت. شاخص‌های Hue و Chroma طبق فرمول‌های (6) و (7) محاسبه شد [33].

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

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

14-2- حلالیت

برای این منظور یک گرم پودر در دمای محیط با استفاده از همزن مغناطیسی (ساخت ایران، شرکت پل ایده آل پارس، مدل PIT300) در 10 میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. نمونه‌برداری از محلول در زمان‌های مختلف انجام شده و میزان ساکارز محلول با استفاده از دستگاه رفرکتومتر (ساخت بلژیک، شرکت ستی، مدل ABBE Refractometer) تعیین گردید [34].

15-2- تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی با نرم افزار SPSS نسخه 19 انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها به روش دانکن در سطح اطمینان 95 درصد انجام گرفت [35].

3- نتایج و بحث

3-1- محتوای رطوبتی پودر و فعالیت آبی (aw)

پایین بودن محتوای رطوبتی و فعالیت آبی پودر منجر به جلوگیری از تخریب ترکیبات فعال ریزپوشانی شده در ساختار پودر می‌گردد. در محصولات غنی از شکر با فعالیت آبی کم‌تر از 0/6 هیچ تکثیر میکروبی اتفاق نمی‌افتد. تحت این شرایط محصول به‌طور کامل ایمن در نظر گرفته می‌شود، اما انجام واکنش‌های شیمیایی امکان‌پذیر است [36، 37]. فعالیت آبی به‌صورت نسبت فشار بخار آب ماده غذایی، به فشار بخار اشباع آب خالص در همان دمایی که ماده غذایی قرار گرفته است اندازه‌گیری می‌شود. فعالیت آبی با میزان رطوبت متفاوت می‌باشد. فعالیت آبی، آب آزاد قابل دسترس در سیستم‌های غذایی است که موجب واکنش‌های بیوشیمیایی می‌شود در

توده افزایش می‌یابد [8]. در بررسی دیگر، میزان چگالی توده را برای پودر هم‌متبلور عصاره مته با نمک‌های معدنی در ماتریس ساکارز در حدود $0/62$ و $0/75 \text{ g/cm}^3$ گزارش شده است، که با نتایج به‌دست آمده مطابقت داشت [10].

3-4- تعیین خصوصیات جریان‌پذیری

تعیین خصوصیات جریان‌پذیری پودر به‌منظور پیش‌بینی قابلیت سهولت کار کردن با پودر در طول فرآوری و نیز ویژگی‌های کلوخه‌ای شدن در طول دوره نگهداری، مفید می‌باشد [42]. [43]. دانسیته توده، تراکم‌پذیری و جریان‌پذیری فرآورده‌هایی غذایی با ماهیت پودری، وابسته به خصوصیات فیزیکی این محصولات است که به میزان زیادی توسط ترکیبات شیمیایی، اندازه ذرات و شرایط محیطی از قبیل رطوبت و دما، تحت تاثیر قرار می‌گیرد [44].

3-4-1- زاویه ریپوز

زاویه ریپوز به‌عنوان یک شاخص به‌منظور طبقه‌بندی خصوصیات جریان‌پذیری فرآورده‌های پودری می‌باشد. فرآورده‌های پودری با زاویه ریپوز 50 درجه و بالاتر از آن خصوصیات جریان‌پذیری مناسبی نخواهند داشت. در مقابل فرآورده‌های پودری با زاویه ریپوز کم‌تر از 40° دارای خصوصیات جریان‌پذیری مناسبی می‌باشند [45]. مقادیر زاویه ریپوز برای پودر هم‌متبلور حاوی مقادیر مختلف عصاره در جدول (2) آورده شده است. نتایج تفاوت معنی‌دار ($P < 0/05$) در مقادیر زاویه ریپوز اندازه‌گیری شده برای پودرهای هم‌تبلوری با اندازه ذرات $0/5$ و 1 میلی‌متر نشان داد. پودرهایی با اندازه ذرات

از ترکیبات عصاره در این بخش‌ها، این امر می‌تواند در جذب رطوبت پودرها موثر باشد. تفاوت معنی‌داری در میزان جذب رطوبت برای پودرها با اندازه ذرات متفاوت مشاهده نشد. نتایج مشابهی توسط سایر محققین در رابطه با میزان جذب رطوبت پودر هم‌متبلور پودر مته و پودر هم‌متبلور حاوی سولفات روی گزارش شده است [4, 12].

مقادیر ارائه شده میانگین 3 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.

3-3- چگالی توده و چگالی توده حاصل از ضربه

مقادیر چگالی توده و چگالی توده حاصل از ضربه در جدول (2) آورده شده است. تفاوت معنی‌داری در میزان چگالی توده و ضربه اندازه‌گیری شده برای نمونه‌ها با اندازه ذرات متفاوت ($P < 0/05$)، $0/5$ و 1 میلی‌متر) در سطح 5 درصد مشاهده شد ($P < 0/05$). به گونه‌ای که نمونه‌ها با اندازه ذرات $0/5$ میلی‌متر چگالی توده و چگالی ضربه بالاتری در مقایسه با نمونه‌ها با اندازه ذرات 1 میلی‌متر از خود نشان دادند. لازم به ذکر است برای پودرهای هم‌متبلور حاوی مقادیر مختلف عصاره و نیز نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. محققین گزارش کردند با افزایش اندازه ذرات چگالی توده و ضربه در نتیجه کاهش سطح تماس و چسبندگی بین ذرات کاهش می‌یابد [41]. در یک بررسی میزان چگالی توده در روغن پوست پرتقال ریزپوشانی شده در ماتریس ساکارز در حدود $0/67$ و $0/72 \text{ g/cm}^3$ گزارش شد. آن‌ها هم‌چنین بیان کردند که با افزایش میزان ساکارز چگالی

جدول (1) جذب رطوبت، رطوبت و فعالیت آبی نمونه شاهد و فرآورده هم‌متبلور

نمونه	جذب رطوبت (%)		فعالیت آبی	رطوبت (%)
	0/5	1		
شاهد	$0/13 \pm 0/008^d$	$0/15 \pm 0/038^{cd}$	$0/296 \pm 0/004^{ab}$	$0/136 \pm 0/081^a$
پودر هم‌متبلور 3%	$0/16 \pm 0/004^{cd}$	$0/16 \pm 0/004^c$	$0/308 \pm 0/004^a$	$0/196 \pm 0/041^a$
پودر هم‌متبلور 5%	$0/32 \pm 0/008^b$	$0/31 \pm 0/008^b$	$0/330 \pm 0/015^a$	$0/166 \pm 0/062^a$
پودر هم‌متبلور 10%	$0/41 \pm 0/008^a$	$0/41 \pm 0/008^a$	$0/286 \pm 0/013^{ab}$	$0/173 \pm 0/055^a$

مقادیر ارائه شده میانگین 3 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.

میلی‌متر زاویه ریپوز بیش‌تر در نتیجه جریان‌پذیری کم‌تری در مقایسه با پودرها با اندازه ذرات 1 میلی‌متر داشتند که این در نتیجه کاهش اصطکاک بین ذره‌ای در پودرها با اندازه ذرات بزرگ‌تر می‌باشد. نتایج به‌دست آمده با یافته‌های تنو و همکاران (1995) که اثر اندازه بر ویژگی‌های جریانی شکر آگلومره شده در اندازه‌های مختلف را مورد مطالعه قرار داده بودند، مطابقت داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش اندازه ذرات، زاویه ریپوز کاهش می‌یابد که این به‌طور عمده به دلیل کاهش تمایل به جاذب‌الرطوبه بودن و چسبندگی ذرات بزرگ‌تر به یکدیگر می‌باشد [46]. تفاوت معنی‌داری در مقادیر زاویه ریپوز برای پودرها حاوی غلظت‌های مختلف عصاره مشاهده نشد. مقادیر زاویه ریپوز به‌دست آمده در این تحقیق مشابه با مقادیر به‌دست آمده برای فراورده هم‌تبلور حاوی عسل [2] و پودرهای هم‌تبلور حاوی عصاره مته و نمک‌های معدنی می‌باشد [10].

3-4-2- نسبت هاسنر و شاخص تراکم‌پذیری

نسبت هاسنر از طریق میزان افت در چگالی اولیه به چگالی توده حاصل از ضربه بیان می‌شود، که این شاخص به‌عنوان یکی از روش‌های ارزیابی خصوصیات جریان‌پذیری پودر می‌باشد [47، 48]. شاخص تراکم‌پذیری به‌طور غیر مستقیم به منظور تعیین قابلیت قرص شوندگی پودر مورد استفاده قرار می‌گیرد. پایین بودن شاخص نشان‌دهنده قابلیت تراکم‌پذیری

بهرتر است [45]. رتبه‌بندی جریان‌پذیری پودرها بر اساس شاخص تراکم‌پذیری شامل: بیش از 10٪ عالی، بین 10 تا 15٪ خوب، 16 تا 20٪ ضعیف، 32 تا 37٪ خیلی ضعیف و بیش از 38٪ خیلی خیلی ضعیف می‌باشد، پودر با نسبت هاسنر کم‌تر از 1/25 جریان‌پذیری مناسبی را از خود نشان می‌دهد در صورتی مقادیر نسبت هاسنر بیش از 1/25 نشان دهنده جریان‌پذیری ضعیف فرآورده است. بر اساس دو شاخص فوق و مقادیر گزارش شده در جدول شده برای شاخص تراکم‌پذیری و نسبت هاسنر، پودر-های به‌دست آمده طی فرایند هم‌تبلوری جریان‌پذیری مناسبی را از خود نشان می‌دهند [49]. نتایج مشابهی برای پودرهای هم‌تبلور حاوی عصاره یربامته گزارش شده است [4].

3-5- ارزیابی شکل و ساختار پودر با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

شکل (1) ساختار سطحی پودرهای هم‌تبلور شاهد و پودر هم‌تبلور حاوی عصاره برگ زیتون 10٪ را نشان می‌دهد. تصاویر، وجود حفره‌های نامنظم در ساختار پودر را نشان داد که این حفره‌ها در نتیجه تغییر ساختار بلورهای تک و جامد ساکارز به توده‌های خوشه مانند است و در نتیجه فرایند هم‌تبلوری ایجاد می‌گردد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان ارائه شده است [9، 11].

3-6- ظرفیت بارگیری و بازده ریز پوشانی

غلظت پلی‌فنول‌های عصاره برگ زیتون بارگیری شده

جدول (2) خصوصیات جریان‌پذیری نمونه شاهد و فراورده هم‌تبلور با اندازه ذرات مختلف

نمونه		زاویه ریپوز		چگالی توده g/cm ³		چگالی ضربه g/cm ³		نسبت هاسنر		تراکم‌پذیری	
اندازه ذرات (میلی‌متر)		0/5	1	0/5	1	0/5	1	0/5	1	0/5	1
شاهد		39/3	34/6	0/714	0/731	0/779	0/714	1/091	1/048	0/045	0/083
		±0/4 ^a	±0/4 ^b	±0/001 ^a	±0/012 ^b	±0/014 ^a	±0/001 ^a	±0/020 ^a	±0/016 ^b	±0/015 ^b	±0/017 ^a
پودر هم‌تبلور 3%		38/3	34/6	0/713	0/708	0/799	0/713	1/119	1/022	0/029	0/106
		±0/4 ^a	±0/4 ^b	±0/007 ^a	±0/013 ^c	±0/003 ^a	±0/007 ^a	±0/006 ^a	0/006± ^b	±0/006 ^b	±0/005 ^a
پودر هم‌تبلور 5%		39/3	35/3	0/71	0/688	0/796	0/71	1/12	1/022	0/021	0/106
		±0/4 ^a	±0/4 ^b	±0/006 ^{ab}	±0/003 ^{cd}	±0/006 ^a	±0/006 ^{ab}	±0/016 ^a	±0/006 ^b	±0/009 ^b	±0/013 ^a
پودر هم‌تبلور 10%		39	35/3	0/708	0/675	0/793	0/708	1/114	1/027	0/026	0/101
		±0/4 ^a	±0/9 ^b	±0/006 ^{ab}	0±/004 ^d	±0/012 ^a	±0/006 ^{ab}	±0/030 ^a	±0/002 ^b	±0/002 ^b	±0/023 ^a

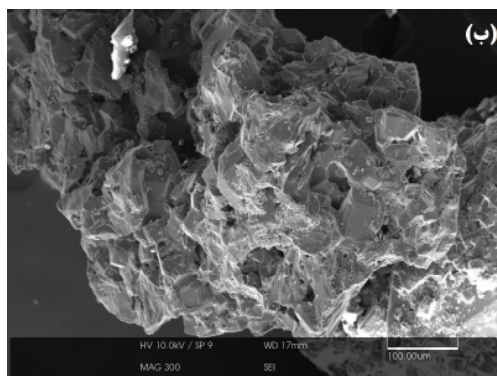
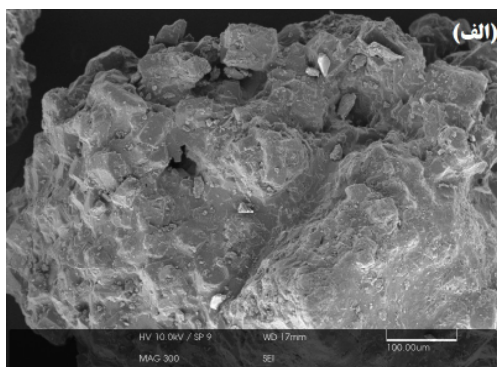
مقادیر ارائه شده میانگین 3 تکرار به همراه انحراف از استاندارد هستند. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح (P<0/05) می‌باشند.

می‌دهد. نتایج نشان داد ظرفیت بارگیری پودرهای هم‌تبلوری به‌طور معنی‌داری ($P < 0/05$) با غلظت پلی‌فنول‌های موجود در عصاره آبی برگ زیتون در ارتباط است. بنابراین بیش‌ترین میزان ظرفیت بارگیری برای پودر حاوی عصاره 10٪ مشاهده شد. این ویژگی برای محاسبه جرم پلی‌فنول‌های پودر به‌منظور تعیین سطح پلی‌فنول‌ها در فرمولاسیون‌های غذایی ضروری است. نتایج هم‌چنین وجود یک همبستگی خطی بین خاصیت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH \cdot و غلظت پلی‌فنول‌های عصاره آبی برگ زیتون را نشان داد. همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش در میزان ظرفیت بارگیری خاصیت آنتی‌اکسیدانی پودر نیز افزایش پیدا کرد. این امر نشان دهنده آن است که فرایند هم‌تبلوری منجر به تغییر خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ زیتون نمی‌شود. محققین بسیاری نیز گزارش کردند، فعالیت آنتی‌اکسیدانی به میزان زیادی با محتوای فنولی محصول در ارتباط است به گونه‌ای که با افزایش در میزان ترکیبات فنولی بارگیری شده در ساختار پودر فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد که مطابق با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌باشد [50، 51].

در پودرهای هم‌متبلور که حاوی عصاره 3، 5 و 10 درصد بودند، به‌ترتیب در حدود 0/361، 0/649 و 1/178 میلی‌گرم اسیدگالیک به ازای یک گرم پودر تعیین شد. بازده ریزپوشانی نیز برای نمونه‌ها طی فرایند هم‌تبلوری، با وجود کارکردن در شرایط دمایی بالای 130 درجه سانتی‌گراد در حدود 89٪ به‌دست آمد. بازده ریزپوشانی 85٪ در ریزپوشانی عصاره آبی یربا مته در ماتریس ساکارز طی فرایند هم‌تبلوری گزارش شد. کاهش اندک در میزان پلی‌فنول‌های پودر می‌تواند در نتیجه تخریب ترکیبات حساس به حرارت موجود در عصاره طی فرایند هم‌تبلوری رخ دهد. بازده ریزپوشانی در این تحقیق مشابه با مقادیر به‌دست آمده در ریزپوشانی عصاره یربا مته در ماتریس ساکارز [4] و هم‌چنین پودرهای هم‌متبلور حاوی عصاره یربا مته و نمک‌های معدنی بود [10].

3-7- ظرفیت بارگیری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر هم‌متبلور

شکل (2) ارتباط بین ظرفیت بارگیری و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر هم‌متبلور را در برابر مهار رادیکال آزاد DPPH \cdot را نشان



شکل (1) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی پودرهای هم‌متبلور (الف) نمونه شاهد (ب) پودر هم‌متبلور حاوی عصاره 10٪

3-8- ویژگی‌های رنگی فراورده هم‌متبلور

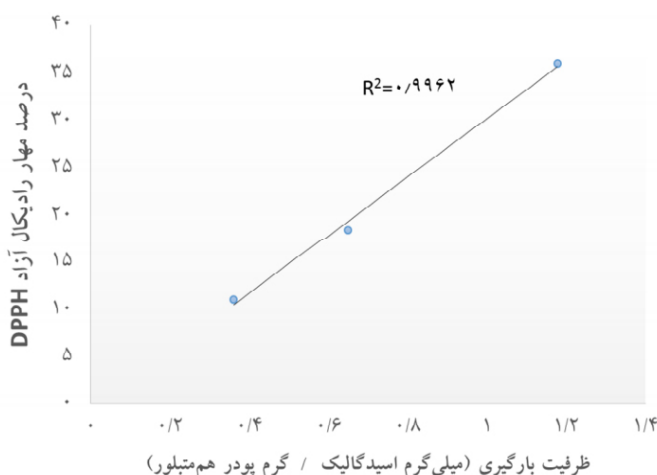
معنی‌داری داشت [52]. در تولید پودرهای حاوی عصاره گاس¹ با استفاده از فرایند خشک‌کردن پاششی گزارش شد با افزایش در میزان مالتودکسترین به‌عنوان ماده دیواره از 10% به 20٪، مقادیر L^* به گونه معنی‌داری افزایش می‌یابد در حالی که مقادیر Chroma به گونه معنی‌داری کاهش می‌یابد. که این تفاوت‌ها برای افزایش غلظت مالتودکسترین از 20 به 30% معنی‌دار نبود. که این نتایج مطابق با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است [53].

3-9- حلالیت

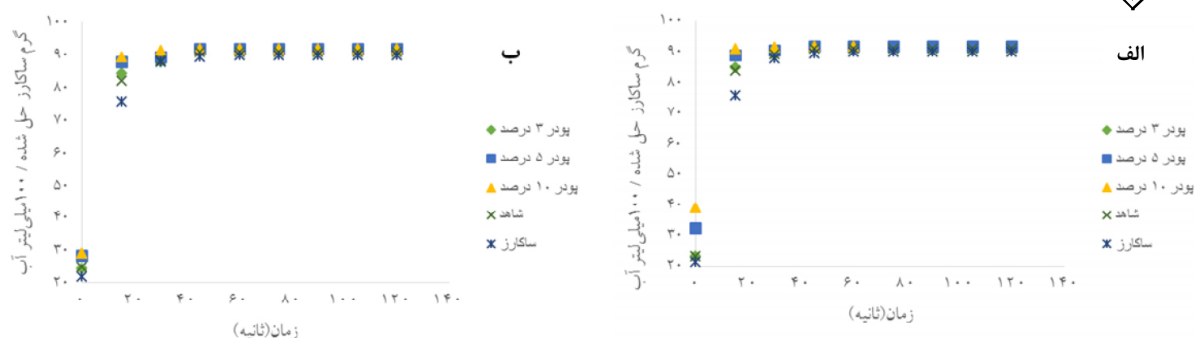
سرعت حلالیت بلورهای ساکارز ثابت نیست و می‌تواند با توجه به دما، سرعت هم‌زدن محلول، درجه اشباعیت محلول و نیز اندازه بلورها متفاوت باشد [14]. میزان حلالیت ساکارز، نمونه شاهد هم‌متبلور و پودرهای هم‌متبلور حاوی عصاره برگ زیتون در واحد زمان در شکل (3) نشان داده شده است. مدت زمان حلالیت برای همه نمونه‌ها در حدود 45 ثانیه تعیین شد. به گونه‌ای که بعد از گذشت این زمان تفاوتی در جرم ساکارز خوانده شده توسط دستگاه رفرکتومتر مشاهده نشد. سرعت حلالیت برای ساکارز در مقایسه با نمونه شاهد هم‌متبلور و نیز فراورده هم‌متبلور حاوی عصاره برگ زیتون در زمان‌های 0، 15، 30، 45 ثانیه در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری داشت ($P < 0/05$). که این تفاوت به احتمال زیاد در نتیجه ایجاد تخلخل در ساختار توده‌های ساکارز بعد از فرایند هم‌تبلوری

مقادیر مربوط به ویژگی‌های رنگی فراورده هم‌متبلور حاوی عصاره برگ زیتون در جدول (3) آمده است. ارزیابی ویژگی‌های رنگی نشان داد با افزایش غلظت عصاره ویژگی‌های رنگی پودر نیز به گونه‌ای معنی‌دار تحت تاثیر قرار می‌گیرند، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین میزان L^* برای نمونه شاهد مشاهده شد و به تدریج با افزایش غلظت عصاره بارگیری شده در پودر میزان L^* به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. عکس این حالت برای مقادیر b^* و Chroma اتفاق افتاد به این معنی که با افزایش غلظت عصاره میزان b^* و Chroma به گونه معنی‌داری افزایش پیدا کرد ($P < 0/05$). نتایج هم‌چنین افزایش در مقادیر $^{\circ}$ Hue angle با افزایش غلظت عصاره بارگیری شده در پودر را نشان داد در صورتی که این تفاوت برای پودر حاوی عصاره 5٪ و 10٪ معنی‌دار نبود. این نتایج نشان‌دهنده تاثیر رنگ سبز-زرد عصاره آبی برگ زیتون است که با قرارگیری در ساختار ساکارز به گونه‌ای معنی‌دار خصوصیات رنگی پودر را در نتیجه تمایز رنگ عصاره با ساکارز خالص تحت تاثیر قرار می‌دهد. محققین بسیاری نیز گزارش کردند که افزایش در غلظت عصاره قرار گرفته در ساختار پودر به گونه‌ای معنی‌دار ($P < 0/05$) خصوصیات رنگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال در تولید پودر آب انار با استفاده از فرایند خشک‌کردن پاششی گزارش شد با افزایش غلظت آب انار مقادیر L^* به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در حالی‌که مقادیر b^* افزایش

1. Gac (Momordica cochinchinensis)



شکل (2) ارتباط بین ظرفیت بارگیری و قابلیت مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH



شکل (3) حلالیت ساکارز تجاری، فراورده هم‌متبلور و شاهد (الف) ذرات با اندازه 0/5 میلی‌متر (ب) ذرات با اندازه 1 میلی‌متر

جدول (3) ویژگی‌های رنگی نمونه شاهد و فراورده هم‌متبلور حاوی عصاره آبی برگ زیتون

ویژگی‌های رنگی					نمونه
Chroma	Hue angle°	b*	a*	L*	
6/86±0/513 ^d	66/73±2/017 ^c	6/29±7/63 ^a	-2/71±0/336 ^a	70/63±0/780 ^a	شاهد
10/99±0/825 ^c	76/20±0/908 ^b	14/89±0/080 ^b	-2/16±0/324 ^a	67/34±0/400 ^b	پودر هم‌متبلور 3%
15/09±0/201 ^b	81/14±3/253 ^{ab}	10/61±0/693 ^c	-2/33±0/874 ^a	66/11±0/631 ^{bc}	پودر هم‌متبلور 5%
18/54±0/756 ^a	84/97±2/953 ^a	18/45±0/453 ^d	-1/61±0/956 ^a	64/19±1/813 ^c	پودر هم‌متبلور 10%

مقادیر ارائه شده میانگین 3 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.

4- نتیجه‌گیری

در این تحقیق فراورده هم‌متبلور حاوی عصاره آبی برگ زیتون با خاصیت آنتی‌اکسیدانی تولید شد. در این روش با وجود کار کردن در شرایط دمایی بالای 130 درجه سانتی‌گراد، بازده فرایند به میزان بالایی به دست آمد و فراورده هم‌متبلور توانست خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ زیتون را در بیش‌ترین مقدار خود حفظ کند. طی فرایند هم‌تبلوری در نتیجه تغییر ساختار بلورهای متراکم ساکارز به توده‌های متخلخل حلالیت افزایش یافت. فعالیت آبی، محتوای رطوبتی و جاذب‌الرطوبه بودن پایین برای پودر هم‌متبلور به دست آمد که نشان دهنده پایداری بالای فراورده در برابر واکنش‌های شیمیایی و میکروبی می‌باشد. ارزیابی خصوصیات جریان‌پذیری نیز نشان داد فراورده تولیدی با اندازه ذرات درشت‌تر در مقایسه با ذرات تولیدی ریز ویژگی‌های جریان‌پذیری مناسب‌تری را دارا می‌باشد. بنابراین استفاده از فراورده هم‌متبلور حاوی عصاره برگ زیتون یک پیشنهاد مناسب به منظور افزودن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طبیعی به فرمولاسیون‌های غذایی می‌باشد.

می‌باشد. فرایند هم‌تبلوری باعث اصلاح ساختار متراکم بلورهای ساکارز به توده‌های متخلخل می‌گردد. در نتیجه ترکیبات فعال به‌طور عمده در حفره‌های موجود بین بلورها جای می‌گیرند. با توجه به تخلخل موجود در توده‌های ساکارز، محلول‌های آبی می‌توانند به راحتی به این ساختارها نفوذ کرده و ترکیبات هسته را به منظور حلالیت آزاد کنند [54]. به‌طور کلی فراورده هم‌متبلور در مقایسه با ساکارز سرعت حلالیت بالاتری را در واحد زمان از خود نشان دادند که این تفاوت برای پودر هم‌متبلور حاوی عصاره 10٪ در مقایسه با پودرهای 3٪ و 5٪ بیش‌تر بود. تفاوت معنی‌داری هم در رابطه با میزان سرعت حلالیت نمونه‌ها با اندازه ذرات متفاوت مشاهده نشد. نتایج مشابهی برای فراورده هم‌متبلور حاوی عصاره یربا مته گزارش شده است [4، 10]. در یک بررسی بر روی ریزپوشانی اولئورزین هل در ماتریس ساکارز طی فرایند هم‌تبلوری سرعت حلالیت پایین‌تری برای فراورده هم‌متبلور در مقایسه با ساکارز خالص گزارش شد که ناشی از تفاوت در اندازه بلورهای ساکارز در مقایسه با حبه‌های فراورده هم‌متبلور بود.

منابع

- Microstructure of minerals and yerba mate extract co-crystallized with sucrose. *J. Food Eng.*, 96 (3), 410-415.
- [12] López-Córdoba, A., Gallo, L., Bucalá, V., Martino, M., Navarro, A. (2016). Co-crystallization of zinc sulfate with sucrose: A promissory strategy to render zinc solid dosage forms more palatable. *J. Food Eng.*, 170, 100-107.
- [13] Maulny, A.P.E., Beckett, S.T., Mackenzie, G. (2005). Physical Properties of Co-crystalline Sugar and Honey. *J. Food Sci.*, 70 (9), 567-572.
- [14] Sardar, B.R., Singhal, R.S. (2013). Characterization of co-crystallized sucrose entrapped with cardamom oleoresin. *J. Food Eng.*, 117 (4), 521-529.
- [15] Boskou, D., Blekas, G., Tsimidou, M. (1996). Olive oil composition. *Olive oil: Rubber Chem. Technol.*, 19, 52-83.
- [16] Goulas, V., Exarchou, V., Troganis, A.N., Psomiadou, E., Fotsis, T., Briasoulis, E., Gerothanassis, I.P. (2009). Phytochemicals in olive-leaf extracts and their antiproliferative activity against cancer and endothelial cells. *Mol. Nutr Food Res.*, 53 (5), 600-608.
- [17] Bulotta, S., Celano, M., Lepore, S.M., Montalcini, T., Pujia, A., Russo, D. (2014). Beneficial effects of the olive oil phenolic components oleuropein and hydroxytyrosol: focus on protection against cardiovascular and metabolic diseases. *J. Transl. Med.*, 12 (1), 1-22.
- [18] Casaburi, I., Puoci, F., Chimento, A., Sirianni, R., Ruggiero, C., Avena, P., Pezzi, V. (2013). Potential of olive oil phenols as chemopreventive and therapeutic agents against cancer: a review of in vitro studies. *Mol. Nutr Food Res.*, 57 (1), 71-83.
- [19] Rafiee, Z., Jafari, S.M., Alami, M., Khomeiri, M. (2011). Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from olive leaves; a comparison with maceration. *J. Anim Plant Sci.*, 21 (4), 738-745.
- [1] Chen, A.C. (1994). Ingredient technology by the sugar cocrystallization process. *INT Sugar J.* 96, 493-494.
- [2] Bhandari, B.R., Datta, N., D'Arcy, B.R., Rintoul, G.B. (1998). Co-crystallization of honey with sucrose. *Food Sci. Technol-LEB.*, 31 (2), 138-142.
- [3] Chen, A.C., Veiga, M.F., Rizzuto, A.B. (1988). Cocrystallization: An encapsulation process. *Food Technol.*, 42(11), 87.
- [4] López-Córdoba, A., Deladino, L., Agudelo-Mesa, L., Martino, M. (2014). Yerba mate antioxidant powders obtained by co-crystallization: Stability during storage. *J. Food Eng.*, 124, 158-165.
- [5] Awad, A., Chen, A.C. (1993). A new generation of sucrose products made by cocrystallization, *Food Technol.*, 47(1), 145-146.
- [6] LaBell, F. (1991). Co-crystallization process aids dispersion and solubility. *Food Processing*, 52 (8), 60-63.
- [7] Astolfi-Filho, Z., Souza, A.C., Reipert, É.C., Telis, V.R. (2005). Encapsulação de suco de maracujá por co-cristalização com sacarose: cinética de cristalização e propriedades físicas. *Food Sci. Technol-LEB*, 25 (4), 795-801.
- [8] Beristain, C.I., Vazquez, A., Garcia, H.S., Vernon-Carter, E.J. (1996). Encapsulation of orange peel oil by cocrystallization. *Food Sci. Technol-LEB*, 29 (7), 645-647.
- [9] Bhandari, B.R., Hartel, R.W. (2002). Co-crystallization of Sucrose at High Concentration in the Presence of Glucose and Fructose. *J. Food Sci.*, 67(5), 1797-1802.
- [10] Deladino, L., Anbinder, P.S., Navarro, A.S., Martino, M.N. (2007). Co-crystallization of yerba mate extract (*Ilex paraguariensis*) and mineral salts within a sucrose matrix. *J. Food Eng.*, 80 (2), 573-580.
- [11] Deladino, L., Navarro, A.S., Martino, M.N. (2010).

- ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *J. Food Eng.*, 84 (2), 194-205.
- [30] Carr, R.L. (1965). Evaluating flow properties of solids. *Chem. Eng.*, 1965, 72 (2), 163-168.
- [31] Capannesi, C., Palchetti, I., Mascini, M., Parenti, A. (2000). Electrochemical sensor and biosensor for polyphenols detection in olive oils. *Food Chem.*, 71 (4), 553-562.
- [32] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci. Technol-LEB*, 28 (1), 25-30.
- [33] Zheng, C., Sun, D.W., Zheng, L. (2006). Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection—a review. *Trends Food Sci Tech*, 17(12), 642-655.
- [34] Beristain, C.I., Mendoza, R.E., Garcia, H.S., Vazquez, A. (1994). Cocrystallization of jamaica (*Hibiscus sabdarifolius*) granules. *Food Sci. Technol-LEB*, 27(4), 347-349.
- [35] Zheng, L., Ding, Z., Zhang, M., Sun, J., (2011). Microencapsulation of bayberry polyphenols by ethyl cellulose: Preparation and characterization. *J. Food Eng.*, 104(1), 89-95.
- [36] Fennema, O.R., Tannenbaum, S.R. (1996). Introduction to food chemistry. *Food science and technology-New York-Marcel Dekker*, 1-16.
- [37] Fu, B., Labuza, T.P. (1993). Shelf-life prediction: theory and application. *Food Control*, 4 (3), 125-133.
- [38] Quek, S.Y., Chok, N.K., Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chem. Eng. Process*, 46 (5), 386-392.
- [39] Newman, A.W., Reutzel-Edens, S.M., Zografis, G. (2008). Characterization of the “hygroscopic” properties of active pharmaceutical ingredients. *J. Pharm. Sci.*, 97 (3), 1047-1059.
- [20] Rahmanian, N., Jafari, S.M., Galanakis, C.M. (2014). Recovery and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 91(1), 1-18.
- [21] Kosaraju, S.L., Labbett, D., Emin, M., Konczak, I., Lundin, L. (2008). Delivering polyphenols for healthy ageing. *Nutr Diet*, 65 (3), 48-52.
- [22] Makris, D.P., Rossiter, J.T. (2000). Heat-induced, metal-catalyzed oxidative degradation of quercetin and rutin (quercetin 3-O-rhamnosylglucoside) in aqueous model systems. *J. Agric. Food Chem.*, 48 (9), 3830-3838.
- [23] Wanasundara, P.K J P.D., Shahidi, F. (2005). Antioxidants: science, technology, and applications. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. John Wiley & Sons, Inc . 431-489.
- [24] Anagnostopoulou, M.A., Kefalas, P., Papageorgiou, V.P., Assimopoulou, A.N., Boskou, D. (2006). Radical scavenging activity of various extracts and fractions of sweet orange peel (*Citrus sinensis*). *Food Chem.*, 94 (1), 19-25.
- [25] AOAC. (2005). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, Vol. II. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- [26] Callahan, J.C., Cleary, G.W., Elefant, M., Kaplan, G., Kensler, T., Nash, R.A. (1982). Equilibrium moisture content of pharmaceutical excipients. *Drug Dev . Ind. Pharm.*, 8, 355–369.
- [27] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. *J. Food Eng.*, 66 (1), 25-34.
- [28] Pordesimo, L.O., Onwulata, C.I., Carvalho, C.W.P. (2009). Food powder delivery through a feeder system: effect of physicochemical properties. *Int. J. Food Prop.*, 12 (3), 556-570.
- [29] Jinapong, N., Suphantharika, M., Jammong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by

- [51] Moyer, R.A., Hummer, K.E., Finn, C.E., Frei, B., Wrolstad, R.E. (2002). Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: Vaccinium, Rubus, and Ribes. *J. Agric. Food Chem.*, 50 (3), 519-5215.
- [52] Muzaffar, K., Wani, S.A., Dinkarrao, B.V., Kumar, P. (2016). Determination of production efficiency, color, glass transition, and sticky point temperature of spray-dried pomegranate juice powder. *Cogent Food Agric.*, 2 (1), 114-120.
- [53] Tuyen, C.K., Nguyen, M.H., Roach, P.D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *J. Food Eng.*, 98 (3), 385-392.
- [40] Schultheiss, N., Newman, A. (2009). Pharmaceutical cocrystals and their physicochemical properties. *Cryst. Growth Des.*, 9(6), 2950-2967.
- [41] Abdullah, E.C., Geldart, D. (1999). The use of bulk density measurements as flowability indicators. *Powder Technol.*, 102 (2), 151-165.
- [42] Geldart, D., Abdullah, E.C., Hassanpour, A., Nwoke, L.C., Wouters, I. (2006). Characterization of powder flowability using measurement of angle of repose. *China Particuology*, 4, 104-107.
- [43] Santomaso, A., Lazzaro, P., Canu, P. (2003). Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing. *Chem. Eng. Sci.*, 58 (13), 2857-2874.
- [44] Barbosa-Canovas, G.V., Malave-Lopez, J., Peleg, M. (1987). Density and compressibility of selected food powders mixture. *J. Food Process Eng.*, 10 (1), 1-19.
- [45] Peleg, M. (1977). Flowability of food powders and methods for its evaluation-a review. *J. Food Process Eng.*, 1 (4), 303-328.
- [46] Teunou, E., Vasseur, J., Krawczyk, M. (1995). Measurement and interpretation of bulk solids angle of repose for industrial process design. *Powder Handl Process*, 7 (3), 219-228.
- [47] Juliano, P., Barbosa-Cánovas, G.V. (2010). Food powders flowability characterization: theory, methods, and applications. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 1, 211-239.
- [48] 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.
- [49] USP 30-NF 25, United States Pharmacopeia-National Formulary, Rockville, MD, 2007.
- [50] Ersus, S., Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. *J. Food Eng.*, 80, 805-812.