ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی عصاره چای سبز ریزپوشانی شده به روش هم‌تبلوری

مهدیه اکبری[۱]، علیرضا صادقی ماهونک[۲*]، خشایار سرابندی[۳]، آزاده قربانی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، 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- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
٤- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹٦/ ۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۳۰)

چکیده

برگ چای سبز به‌دلیل عدم تخمیر، حاوی مقادیر فراوانی از ترکیبات فنلی است. ترکیبات فنلی چای سبز ترکیبات طبیعی با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی می‌باشند. پلی‌فنل‌ها به شرایط محیطی حساس می‌باشند. برای بهبود پایداری پلی‌فنل‌ها، عصاره چای سبز با روش هم‌تبلوری ریزپوشانی شد. هدف از این تحقیق، ارزیابی بازده فرایند، ظرفیت بارگیری، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فراورده‌ی هم‌متبلور (رطوبت، فعالیت آبی، دانسیته‌ی توده و ضربه، انحلال‌پذیری، جاذب‌الرطوبگی)، خصوصیات ساختاری پودر از قبیل مورفولوژی (SEM) و نیز خصوصیات جریان‌پذیری پودر حاصل (شاخص تراکم‌پذیری، نسبت هاسنر و زاویه ریپوز) بود. نتایج نشان داد که اثر غلظت عصاره بر میزان ترکیبات فنلی معنی‌دار اســـت (P<۰/۰۵). کارایی ریزپوشانی با افزایش میزان غلظت عصاره در پودر هم‌متبلور افزایش یافت. عصاره ریز پوشانی شده در غلظت ۱۰ درصد بیش‌ترین اثر را در مهار رادیکال DPPH، ABTS، هیدروکسیل و میزان احیاکنندگی داشت (به ترتیب ٥٦/۹، ٦۹/۳۷، ۷۱/٦۳ درصد و ۰/۸۱). تفاوت در اندازه‌ی ذرات پودر ریزپوشانی‌شده می‌تواند خصوصیات جریان‌پذیری پودر را به‌گونه‌ای معنی‌دار (P<۰/۰۵) تحت تأثیر قرار دهد. به‌طورکلی مقادیر فعالیت آبی، محتوای رطوبتی و جاذب‌الرطوبگی پودرهای هم‌متبلور نشان داد فراورده‌ی تولیدشده پایدار بوده و از خصوصیات مناسبی جهت نگهداری برخوردار است. لذا می‌توان از ریزپوشانی به روش هم‌تبلوری به‌عنوان روشی کارآمد جهت افزایش پایداری عصاره چای سبز در برابر شرایط محیطی استفاده نمود.

کلید واژگان: فعالیت آنتی‌اکسیدانی، عصاره آبی، هم‌تبلوری، چای سبز، جاذب‌الرطوبگی.

* مسئول مکاتبات: Sadeghiaz@gau.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

۱- مقدمه

چای گیاهی از شاخه نهان‌دانگان یک‌پایه، رده دولپه‌ای‌ها، راسته Parital، خانواده Teacae و از جنس Camellia بانام علمی *Camelliasinensis* می‌باشد. برگ چای ازنظر اقتصادی و بهره‌برداری، قسمت اصلی این گیاه را تشکیل می‌دهد. چای‌هایی که برای چای‌سازی کشت می‌شوند دارای سه تیپ می‌باشد: تیپ آسامی[1]، تیپ چینی[2]، تیپ جنوبی[3]. ارقام موجود چای در ایران نوع هیبریدهای چینی- آسامی می‌باشند که سازگاری بیش‌تری با شرایط آب و هوایی شمال کشور داشته‌اند. نوشیدنی چای به‌صورت گسترده‌ای در سراسر جهان مورداستفاده قرار می‌گیرد و به انواع چای سفید، سبز و سیاه تقسیم می‌شود که اساس این تقسیم‌بندی میزان تخمیر صورت گرفته در برگ‌های چای است. چای سبز به دلیل عدم تخمیر، حاوی مقادیر فراوانی از ترکیبات فنلی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به اپی‌کاتچین، اپی‌کاتچین‌گالات، اپی‌گالوکاتچین و اپی‌گالوکاتچین‌گالات اشاره نمود [۱].

آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی ساختاری فنلی یا پلی‌فنلی داشته و از تشکیل رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کنند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی اساساً به دلیل خصوصیات اکسایشی و کاهشی آن‌هاست. علاوه بر این توانایی شلاته کردن فلزات را نیز دارند. این ترکیبات واکنش‌های اکسایشی روغن‌ها، چربی‌ها و ترکیبات محلول در چربی را نیز به تأخیر می‌اندازند [۲ و ۳]. از روش‌های مختلفی برای استخراج ترکیبات فنلی استفاده می‌شود. استخراج آبی ترکیبات فنلی به دلیل عدم استفاده از حلال‌های آلی به‌عنوان یکی از ایمن‌ترین و بهترین روش‌های استخراج،شناخته شده است [٤]. امروزه محصولات گیاهی سمبل ایمنی هستند و با فیزیولوژی طبیعی انسان نیز سازگاری دارند. افزایش میزان دریافت آنتی‌اکسیدان‌ها می‌تواند از بروز بسیاری از بیماری‌ها جلوگیری نماید [۵]. بااین‌حال، پلی‌فنل‌ها به شرایط محیطی حساس بوده و طی فرایند و نگهداری مواد غذایی دستخوش واکنش‌های اپیمریزاسیون، اکسیداسیون و تجزیه‌شده که منجر به کاهش فعالیت پلی‌فنل‌ها می‌شود [٦ و ۷]. علاوه بر این، پلی‌فنل‌ها دارای مزه گس و تلخی هستند که استفاده از آن‌ها را به‌عنوان مکمل غذایی و یا در ترکیب با مواد غذایی با مشکل همراه می‌سازد [۸]. ریزپوشانی پلی‌فنل‌ها می‌تواند راهکاری جهت غلبه بر این مشکلات باشد. میکروانکپسولاسیون ترکیبات زیست فعال، آن‌ها را در برابر تنش‌های فیزیکی و شیمیایی حفظ می‌کند درنتیجه مواد زیست فعال حساس را پایدار ساخته و از شرایط محیطی نامناسب مصون می‌دارد و باعث افزایش دسترسی زیستی آن‌ها می‌گردد[۹]. هم‌تبلوری[4]به‌عنوان یکی از روش‌های ساده و اقتصادی ریزپوشانی مطرح شده است که در سال‌های اخیر، شمار اندکی از مطالعات در مورد آن گزارش شده است [۱۰]. در این روش از ریزپوشانی، ساکارز به‌عنوان ماده دیواره، از ساختاری کامل و متراکم در پی تغلیظ شربت ساکارز از طریق تبخیر در دماهای بالا به ساختاری نامنظم تغییر می‌یابد و درنهایت بلورهایی در اندازه میکرو شکل می‌گیرد که در ساختار متخلخل خود، ترکیبات ثانویه را جای می‌دهند [۱۱ و ۱۲]. گرمای نهان تبلور طی این فرایند برای تبخیر رطوبت، به‌اندازه کافی بالا می‌باشد درنتیجه می‌توان به یک فراورده نهایی خشک دست‌یافت[۱۲]. ریزپوشانی ترکیبات فنلی عصاره چای سبز از طریق خشک‌کن انجمادی و خشک‌کن پاششی با استفاده از سه ماده دیواره شامل مالتودکسترین، بتا-سیکلودکسترین و ترکیبی از این دو ماده توسط پاسریجا و همکارانش (۲۰۱۵)، گزارش شد [۱۳]. در پژوهشی دیگر، وانگ و همکاران، (۲۰۱۵) نیز روش خشک‌کن پاششی را برای ریزپوشانی ترکیبات فنلی چای سبز موردبررسی قرار دادند. هیدروکسی پروپیل متیل سلولز[5]به‌عنوان ماده دیواره در این پژوهش به کار گرفته شد [١٤]. درحالی‌که نادم و همکاران، (۲۰۱۱) ریز پوشانی عصاره آبی نوعی چای کوهستانی را با خشک‌کن پاششی انجام داده و از مالتودکسترین، بتا-سیکلودکسترین و صمغ عربی به‌عنوان مواد حامل استفاده کردند [۱۵]. هم‌چنین باشانی و همکاران (۲۰۱۷) کاتچین چای سبز را با روش الکترواسپری ریزپوشانی کردند [١٦].

با توجه به کشت چای در نواحی شمالی ایران استفاده از آن به‌عنوان منبع ترکیبات آنتی‌اکسیدانی می‌تواند مزایای اقتصادی زیادی را به دنبال داشته باشد. لذا ریزپوشانی ترکیبات حساس نظیر پلی‌فنل‌ها که در شرایط نامناسب (گرما، رطوبت و نور) به دلیل وجود گروه هیدروکسیل در ساختار مولکولی خود، به‌راحتی تخریب می‌شوند، توصیه می‌شود[۱۷].

1. Assam type: Camellia assamica masters
2. China type: Camellia sinensis
3. Southen type: Camellia assamica sub.s.p lasiocalyx

4. Co-crystallization
5. Hydroxypropyl Methylcellulose

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

در میان روش‌های مورداستفاده جهت ریزپوشانی کردن، روش هم‌تبلوری را به دلیل قیمت نسبتاً پایین ساکارز می‌توان جایگزینی مناسب برای روش‌های مرسوم مانند خشک‌کن پاششی در نظر گرفت. بنابراین هدف از این تحقیق، ریزپوشانی عصاره‌ی آبی چای سبز در ماتریس ساکارز طی فرایند هم‌تبلوری و نیز بررسی خصوصیات فیزیکی شیمیایی پودر حاصله از قبیل پایداری ترکیبات فنولی و حفظ خاصیت آنتی‌اکسیدانی فراورده در شرایط فرایند و نیز خصوصیات جریان‌پذیری و ساختاری پودر می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها برای استخراج

چای سبز از مزارع رامسر تهیه شد. برگ‌های چای بدون شستشو به‌مدت پنج روز در دمای محیط و جریان طبیعی هوا خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده، توسط آسیاب خرد شده و پودر حاصل از نمونه‌ها تا زمان استخراج عصاره در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند [۱۸].

۲-۲- تهیه عصاره‌ی آبی برگ چای

به‌منظور عصاره، برگ چای، نسبت‌های ۰/۳: ۱۰، ۰/۵: ۱۰ و ۱: ۱۰ پودر برگ چای به آب به مدت ٤۰ دقیقه در حمام آب (ساخت آلمان، شرکت ممرت، مدل WB14) در دمای ۹۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس عصاره حاصل، سانتریفیوژ (ساخت کره جنوبی، شرکت هانیل، مدل Cambi-514R) گردید و پس از صاف شدن در ظروف تیره در یخچال با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد برای انجام آزمون‌های بعدی نگهداری شد [۱۹].

۲-۳- تهیه پودر هم‌متبلور

جهت تهیه پودر از ساکارز تجاری استفاده شد. ۱۰ میلی‌لیتر عصاره آبی چای سبز در ظرف فلزی با ۵۰ گرم ساکارز مخلوط و تا رسیدن به دمای ۱۳۲درجهٔ سانتی‌گراد روی هیتر به‌صورت مداوم همزده شد. با مشاهده کدورت جزئی حرارت دهی متوقف و تا زمان رسیدن مخلوط به دمای محیط عمل همزدن ادامه یافت. سپس فراورده هم‌متبلور، به‌وسیله آون (ساخت آلمان، شرکت ممرت، مدل UFA500) در دمای ٤۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ ساعت خشک گردید، سپس آسیاب و الک شده و در بسته‌های پلاستیکی محافظ به هوا و رطوبت برای انجام آزمون‌های بعدی نگهداری شد. هم‌چنین محلول فوق‌اشباع ساکارز فاقد عصاره که به روش فوق تهیه شده به‌عنوان نمونه‌ی شاهد برای انجام آزمون‌ها مورداستفاده قرار گرفت [۱۹].

۲-٤ - روش‌های انجام آزمون

۲-٤-۱- اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل

میزان کل ترکیبات فنلی با روش رنگ‌سنجی فولین-سیوکالته بر اساس روش سینگلتون و همکاران (۱۹۹۹) اندازه‌گیری شد. یک میلی‌لیتر از عصاره با یک میلی‌لیتر معرف فولین-سیوکالته و ۵ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۷/۵ درصد مخلوط شد. بعد از قرار دادن مخلوط به مدت یک ساعت در دمای اتاق، جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در برابر آب به‌عنوان نمونه شاهد در طول‌موج ۷٦۵ نانومتر خوانده شد. جهت رسم منحنی استاندارد از اسید گالیک استفاده شد. منحنی استاندارد اسیدگالیک با همین طول‌موج در دامنه غلظت ۰/۰٤ تا ۰/٤ میلی‌گرم در میلی‌لیتر رسم گردید [۲۰].

۲-٤-۲- تعیین ظرفیت بارگیری[1] و بازده فرایند[2]

ظرفیت بارگیری (L_C) بر اساس مقدار فنل کل عصاره برگ چای سبز بارگیری شده در یک گرم پودر هم‌متبلور محاسبه شد. بازده فرایند نیز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

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

که در این رابطه L_0 مقدار فنل کل عصاره برگ چای سبز در یک گرم مخلوط خام اولیه می‌باشد [۱۹].

۲-٤-۳- ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر هم‌متبلور

برای ارزیابی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی پودرهای هم‌متبلور حاوی عصاره چای سبز، مقدار ۱ گرم از هر نمونه پودرهای هم‌متبلور در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده و برای انجام آزمون‌ها مورداستفاده قرار گرفت.

۲-٤-۳-۱- آزمون مهار رادیکال آزاد DPPH

توانایی مهار رادیکال آزاد بر اساس روش برند-ویلیام و همکاران (۱۹۹۵) انجام گرفت. یک گرم از فراورده هم‌متبلور در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و سپس ۱۰۰ میکرولیتر از محلول به ۳/۹ میلی‌لیتر محلول اتانولی DPPH اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ٤۰ دقیقه در دمای محیط و مکان تاریک قرار

1. Loading Capacity
2. Entrapment Yield

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

گرفتند. جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (ساخت انگلستان پی جی اینسترومنت مدل T80) خوانده شد و درصد مهار رادیکال DPPH از معادله زیر محاسبه شد [۱۹].

رابطه (۱):

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

Abs_b جذب نمونه شاهد (بدون ترکیب مؤثر)، Abs_s جذب نمونه می‌باشند.

۲-٤-۳-۲- فعالیت مهار رادیکال ABTS

فعالیت مهار رادیکال ABTS پودرهای هم‌متبلور با استفاده از روش تشریح شده توسط یو و همکاران (۲۰۱۰) با کمی اصلاحات تعیین گردید. محلول رادیکال ABTS با ترکیب نسبت حجمی یکسانی از ABTS در غلظت ۷ میلی‌مولار و ۲/٤۵ میلی‌مولار پتاسیم پرسولفات تهیه گردید. مخلوط در تاریکی و در دمای محیط به‌مدت ۱٦-۱۲ ساعت قبل از مصرف قرار داده شد. در این مدت، اکسیداسیون و تولید رادیکال $ABTS^+$ به‌وسیله پتاسیم پرسولفات انجام می‌گیرد. قبل از آزمون، محلول $ABTS^+$ با استفاده از PBS (pH= ۷/٤,مولار۰/۲) تا جذب ۰/۰۲ ± ۰/۷ در ۷۳٤ نانومتر رقیق شد. سپس ٤۰ میکرولیتر از هر نمونه به ٤ میلی-لیتر محلول رقیق‌شده ABTS افزوده شد. مخلوط برای ۳۰ ثانیه به‌شدت همزده شد و به‌مدت ٦ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. جذب محلول نهایی در ۷۳٤ نانومتر اندازه‌گیری شد. منحنی استاندارد با واکنش ٤۰ میکرولیتر ترولوکس (۱۰۰۰، ۷۵۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۰۰، ۵۰ میکرومولار) با ٤ میلی‌لیتر محلول رقیق شده $ABTS^+$ تهیه شد. درصد مهار رادیکال $ABTS^+$ نمونه‌ها بر اساس معادله زیر محاسبه گردید. همچنین، فعالیت مهار رادیکال $ABTS^+$ بر اساس منحنی استاندارد ترولوکس[1] به شکل ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معادل ترولوکس (میلی‌مولار TEAC) بیان گردید [۲۱].

رابطه (۲):

$$AA\ (\%) = [A_{blank} - A_{sample} / A_{blank}] \times 100$$

A_{blank} (جذب نمونه کنترل فاقد ترکیب فعال) و A_{sample} (جذب نمونه حاوی عصاره چای سبز) هستند.

۲-٤-۳-۳- تعیین قدرت احیاکنندگی

برای تعیین قدرت احیاکنندگی، ۰/۵ میلی‌لیتر نمونه حل‌شده در آب مقطر با ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۲ مولار (pH=٦/٦) و ۰/۵ میلی‌لیتر پتاسیم فری سیانید ۱ درصد وزنی-حجمی مخلوط و در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای ۲۰ دقیقه انکوبه شد. سپس، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اسید تری‌کلرو استیک ۱۰درصد به مخلوط اضافه و به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰۰ rpm سانتریفوژ شد. درنهایت، ۱ میلی‌لیتر سوپرناتانت با ۱ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۲ میلی‌لیتر فریک کلراید ۰/۱ درصد وزنی-حجمی مخلوط گردید. جذب نمونه در ۷۰۰ نانومتر پس از ۱۰ دقیقه نگهداری در دمای محیط، قرائت شد. حجم یکسانی از آب مقطر به‌جای نمونه برای تهیه نمونه کنترل استفاده شد. افزایش جذب مخلوط واکنش نشان‌دهنده افزایش قدرت احیاکنندگی است [۲۲].

۲-٤-۳-٤ فعالیت مهار رادیکال هیدروکسیل

فعالیت مهار رادیکال هیدروکسیل با استفاده از اکسیداسیون ۲-داکسی ریبوز بر طبق روش جامدار و همکاران (۲۰۱۰) تعیین شد. برای این آزمون، ۰/۲میلی‌لیتر از مخلوط ۱۰میلی‌مولار ($FeSO_4$-EDTA)، ۰/۵ میلی‌لیتر (۱۰میلی‌مولار) آلفا داکسی ریبوز، ۰/۲میلی‌لیتر نمونه، ۰/۹میلی‌لیتر سدیم فسفات بافر ۰/۲ مولار (pH= ۷/٤) و ۰/۲ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن (۱۰میلی‌مولار) باهم مخلوط شدند. مخلوط در ۳۷ درجه سانتی‌گراد برای ۱ ساعت انکوبه شد. سپس، ۱میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک (TCA) ۲/۸ درصد برای توقف واکنش به مخلوط افزوده شد. مخلوط برای ۱۵ دقیقه در حمام آب جوش قرار، سپس در یخ سرد شده و جذب آن در ۵۳۲ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. برای تهیه کنترل، حجم یکسانی آب مقطر استفاده گردید. نتایج به شکل درصد مهار رادیکال هیدروکسیل با استفاده از معادله زیر اندازه‌گیری شدند:

رابطه (۳):

$$Inhibition\ (\%) = (1 - A_s/A_b) \times 100$$

در اینجا، A_b جذب نمونه کنترل و A_s جذب نمونه است [۲۳].

۲-٤-٤ دانسیته‌ی توده[2] و دانسیته‌ی حاصل از ضربه[3]

برای این منظور مقدار ۲ گرم از پودر توزین و در استوانه‌ای مدرج ۱۰ میلی‌لیتری ریخته شد. دانسیته‌ی توده از نسبت جرم پودر به حجم اشغال‌شده در استوانه‌ی مدرج، به‌صورت (گرم

1. Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TAEC)

2 . Bulk Density

3.Tapped Density

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

بر میلی‌لیتر) محاسبه گردید [۲٤].سپس بعد از وارد کردن حدوداً ۱۰۰ ضربه متوالی به استوانه حاوی پودر با میانگین تقریبی ٦۰ ضربه در دقیقه و درنهایت ثابت شدن تغییرات حجم پودر در استوانه، دانسیته ضربه تعیین گردید. دانسیته ضربه‌ای از تقسیم وزن بر حجم حاصل محاسبه گردید [۲۵].

۲-٤-۵- نسبت هاسنر[1] و شاخص تراکم‌پذیری[2]

با استفاده از دانسیته ضربه‌ای و دانسیته توده، نسبت هاسنر و شاخص تراکم‌پذیری محاسبه شد [۲٦].

رابطه (٤):

$$HR = \frac{TD}{BD}$$

رابطه (۵):

$$CI = \frac{TD - BD}{BD}$$

در این فرمول‌ها HR (نسبت هاسنر)، CI (شاخص تراکم‌پذیری)، TD (دانسیته توده حاصل از ضربه) و BD (دانسیته توده) می‌باشند.

۲-٤-٦ - زاویه‌ی ریپوز

۲۵ گرم پودر را از درون قیف با قطر مجرای خروجی ۱۲ میلی‌متر، در ارتفاع ثابت عبور داده تا بر روی یک سطح افقی صاف ریخته شده و تشکیل توده دهد. زاویه ریپوز از طریق زاویه‌ی تشکیل‌شده به‌وسیله‌ی شیب توده محصول نسبت به سطح‌مبنا محاسبه می‌گردد [۹].

۲-٤-۷ - درصد رطوبت پودر

رطوبت پودر ریزپوشانی شده به کمک خشک‌کردن در آون ۱۰۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۳-۲ ساعت صورت گرفت. پس‌ازآن پودرها در دسیکاتور با سیلیکاژل و در دمای اتاق سرد شدند. مقدار رطوبت از طریق معادله‌ی زیر محاسبه گردید. [۲۷].

رابطه (٦):

$$M\% = \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3}$$

در این رابطه M درصد رطوبت، W_1وزن ظرف خالی، W_2 مجموع وزن پودر و ظرف، W_3مجموع وزن ظرف و پودر خشک‌شده بعد از آون‌گذاری می‌باشد.

۲-٤-۸ - فعالیت آبی پودر

فعالیت آبی پودر نیز با استفاده از دستگاه aw متر (ساخت سوئیس، شرکت نواسینا[3]، مدل AW SPRINT TH-500) تعیین شد. فعالیت آبی نمونه‌ها در محدوده دمایی ۲۵±۰/۵ خوانده شد. تمامی آزمون‌ها در سه تکرار انجام و میانگین آن‌ها گزارش شد. جهت کالیبراسیون دستگاه یک ساعت قبل از خواندن فعالیت آبی نمونه‌ها روشن گردید.

۲-٤-۹ - جاذب‌الرطوبگی[4]

درصد رطوبت جذب‌شده توسط هر گرم پودر هنگامی‌که به مدت یک هفته در مجاورت محلول اشباع سدیم کلراید در دمای محیط و رطوبت نسبی ۷۵٪ =RH قرار داشتند، اندازه‌گیری شد و رطوبت هیگروسکوپی بر مبنای گرم رطوبت جذب‌شده به ازای هر ۱۰۰ گرم ماده جامد پودر بیان شد [۲۸].

۲-٤-۱۰ - حلالیت[5]

جهت تعیین انحلال‌پذیری پودرهای هم‌متبلور از روش بریستسن و همکاران (۱۹۹٤) استفاده شد. برای این منظور یک گرم پودر در دمای محیط با استفاده از همزن مغناطیسی (ساخت ایران، شرکت پل ایده‌ال پارس، مدل PIT300) در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد. نمونه‌برداری از محلول در زمان‌های مختلف انجام‌شده و جرم ساکارز محلول با استفاده از دستگاه رفرکتومتر (ساخت بلژیک، شرکت ستی، مدل ABBE Refractometer) تعیین گردید [۲۹].

۲-٤-۱۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی[6](SEM)

به‌منظور بررسی ساختار میکروسکوپی پودر تولیدی، از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. نمونه‌ها به‌وسیله‌ی دستگاه پوشش‌دهنده(ساخت کشور کره جنوبی، شرکت هویئون تک مدل HC-21) تحت پوشش طلا قرار گرفتند. سپس با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (ساخت کشور کره جنوبی، شرکت پمترون[7]، مدل PS-230) از سطح

1. Hausner Ratio
2. Compressibility Index

3. Novasina
4. Hygroscopicity
5. Solubility
6. Scanning Electron Microscope (SEM)
7. Pmetron

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

خارجی نمونه‌های آماده‌شده با بزرگنمایی ۳۰۰ و ۱۰۰۰ با ولتاژ ۳ کیلوولت تصویر تهیه شد [۱۷].

۲-۵- آنالیز آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver.19 انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد صورت گرفت. رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ظرفیت بارگیری و بازده ریزپوشانی

با توجه به نتایج آنالیز واریانس، غلظت عصاره بر میزان ترکیبات فنلی، ظرفیت بارگیری و بازده فرایند تأثیر معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). غلظت پلی‌فنل‌های عصاره چای سبز بارگیری شده در پودرهای هم‌متبلور که حاوی عصاره ۳، ۵ و ۱۰ درصد بودند، به ترتیب در حدود ۰/۶۱۶، ۱/۰۸۰ و ۱/۸۵۵ میلی‌گرم اسیدگالیک به ازای یک گرم پودر تعیین شد.

این امر حاکی از آن است که با افزایش در غلظت پلی‌فنل‌های موجود در عصاره، بعد از انجام فرایند هم‌تبلوری نیز مقادیر بیشتری از پلی‌فنل‌ها در پودر هم‌متبلور تولیدی، بارگیری شده است. با توجه به جدول (۱) تفاوت معنی‌داری (P<۰/۰۵) برای پودر هم‌متبلور حاوی عصاره ۳ درصد در مقایسه با فراورده‌ی حاوی عصاره ۵ درصد و ۱۰ درصد مشاهده شد. وجود تفاوت معنی‌دار در بازده تثبیت برای فراورده‌ی هم‌متبلور ۳ درصد در مقایسه با ۵ درصد و ۱۰ درصد ناشی از تخریب بیشتر پلی‌فنل‌های موجود در عصاره با غلظت کمتر ترکیبات فنلی، طی فرایند حرارت‌دهی می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج کاردوبا و همکاران (۲۰۱۵) که غلظت پلی‌فنل‌های بارگیری شده در پودر هم‌متبلور حاوی عصاره‌ی ۱۰ درصد یربا مته را در حدود ۱/۸ میلی‌گرم به ازای یک گرم پودر هم-متبلور گزارش کرده بودند، مطابقت دارد[۳۰]. به‌طور میانگین در این تحقیق بازده فرایند در حدود ۸۸ درصد باوجود کار کردن در شرایط دمایی بالای ۱۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌دست آمد. کاردوبا و همکاران (۲۰۱٤) بازده تثبیت را در حدود ۸۵ درصد در ریزپوشانی عصاره‌ی یربا مته در ماتریس ساکارز گزارش کردند. دلادینو و همکاران (۲۰۰۷) نیز بازده تثبیت را در فرایند ریزپوشانی عصاره لیوفیلیزه یربا مته و نمک‌های معدنی در ماتریس ساکارز در حدود ۷۲ درصد گزارش کردند [۱۷ و ۳۱].

Table 1 Loading capacity (mg gallic acid/ g powder) and entrapment yield of control and co-crystallized products

Co-Crystallized Product	Feed	Loading Capacity	Entrapment Yield
control	0.00 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{d}
3%	0.717 ± 0.12^{c}	0.616 ± 0.15^{c}	85.83 ± 0.46^{c}
5%	1.197 ± 0.16^{b}	1.080 ± 0.13^{b}	90.21 ± 0.91^{b}
10%	2.031 ± 0.12^{a}	1.855 ± 1.10^{a}	91.31 ± 0.752^{a}

*Values are means of 3 determinations ± SD. Same letters within a column indicate no significant difference (P > 0.05).

۳-۲- بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره ریزپوشانی‌شده

۳-۲-۱- اندازه‌گیری ترکیبات فنلی

معادله خط رگرسیونی که رابطه غلظت محلول اسید گالیک را با میزان جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۷٦۵ نانومتر نشان می‌دهد، به‌صورت زیر می‌باشد:

$Y= 0.0011+ 0.0196, R^2=0.9862$

در این رابطه Y و X به ترتیب معادل جذب نمونه در طول‌موج ۷٦۵ نانومتر و مقدار کل ترکیبات فنلی بر اساس گرم اسید گالیک در هر ۱۰۰گرم پودر هم‌متبلور می‌باشد. با توجه به جدول (۲) مقایسه میانگین میزان ترکیبات فنلی در غلظت‌های مختلف پودرهای ریزپوشانی شده بین ٦٤ تا ۱۸٦میلی‌گرم اسید گالیک بر ۱۰۰گرم پودر هم‌متبلور متغیر بوده است. درنتیجه اختلاف معنی‌داری در میزان ترکیبات فنلی و ارتباط آن با

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

غلظت عصاره مشاهده شد. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج کاردوبا و همکاران (۲۰۱٤) هم‌پوشانی داشت [۱۷].

۳-۲-۲- بررسی خاصیت آنتی‌اکسیدانی با آزمون DPPH

جدول (۲) میزان مهار رادیکال DPPH را در حضور غلظت‌های مختلف عصاره ریز پوشانی شده نشان می‌دهد. با بررسی نتایج مشخص گردید که غلظت عصاره تأثیر معنی‌داری روی مهار رادیکال آزاد DPPH داشتند (P<۰/۰۵). پودر هم‌متبلور حاوی ۱۰ درصد عصاره چای سبز به‌طور میانگین ٥٦/۹۰ درصد خاصیت مهارکنندگی رادیکال آزاد از خود نشان دادند درحالی‌که برای پودر هم‌متبلور حاوی ۳ درصد عصاره چای سبز به‌طور میانگین ۲٤/۷۹ درصد اندازه‌گیری شد. بین غلظت پلی‌فنل‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط مستقیم وجود دارد چراکه در غلظت‌های بالا با افزایش تعداد گروه‌های هیدروکسیلی ترکیبات فنلی مواجه هستیم که احتمال دادن هیدروژن به رادیکال‌های آزاد افزایش‌یافته و به دنبال آن بر قدرت مهارکنندگی عصاره افزوده می‌شود[۳۲]. اما در غلظت‌های بسیار بالا تغییرات محسوسی در مهار رادیکال‌های آزاد مشاهده نمی‌شود زیرا یک غلظت بحرانی از فنل‌ها برای حداکثر فعالیت آنتی‌اکسیدانی کافی است و در غلظت‌های بالاتر از غلظت بحرانی به دلیل اشباعیت تأثیری در فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده نمی‌شود [۳۳]. نتایج به‌دست‌آمده با گزارشات ارائه‌شده برای فراورده هم‌متبلور یربا مته که در ماتریس ساکارز ریزپوشانی شد، مطابقت داشت [۱۷]. شجاعی علی‌آبادی و همکاران (۲۰۱٦)، عصاره آبی پوسته سبز گردو را در سه غلظت (۲، ۱، ۰/۵ میلی‌گرم/میلی‌لیتر) با مالتودکسترین به‌عنوان ماده پوشش‌دهنده با روش خشک‌کن پاششی ریزپوشانی کردند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره پوسته سبز گردو را به روش مهار رادیکال DPPH قبل و بعد از ریزپوشانی موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کارایی ریزپوشانی با افزایش میزان غلظت عصاره افزایش یافت و عصاره آزاد و ریزپوشانی شده با غلظت ۲ میلی‌گرم/میلی‌لیتر بیش‌ترین اثر را در مهار رادیکال DPPH داشت [۳٤]. هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده با نتایج دیپالی و همکاران (۲۰۱٦) هم‌پوشانی داشت. دیپالی و همکاران بهینه‌سازی ریزپوشانی عصاره چای سبز را با روش خشک‌کن پاششی موردبررسی قرار دادند. طبق نتایج با افزایش غلظت عصاره، محتوای ترکیبات فنلی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت [۳۵].

۳-۲-۳- بررسی خاصیت آنتی‌اکسیدانی با آزمون ABTS

رادیکال کاتیون ABTS از رادیکال DDPH فعال‌تر است و به همین جهت به شکل گسترده‌ای در سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌کاربرده می‌شود. در این آزمون ابتدا اکسیداسیون ABTS در پی واکنش با پتاسیم پرسولفات رخ‌داده و رادیکال کاتیون‌های ABTS تولیدشده که در ادامه با آنتی‌اکسیدان‌ها یا دیگر گونه‌های رادیکالی که دهنده هیدروژن می‌باشند، واکنش داده و به شکل کاهش‌یافته درمی‌آید. درنتیجه از طریق تعیین میزان کاهش جذب می‌توان به درصد بازدارندگی آنتی‌اکسیدان موردنظر پی برد. فعالیت مهارکنندگی رادیکال در این آزمون بر اساس ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معادل با ترولکس گزارش شد. همان‌طور که از جدول (۲) مشخص است، رابطه مستقیم بین غلظت عصاره چای سبز در پودر ریزپوشانی شده و قدرت آن در مهار رادیکال‌های ABTS وجود داشته و با افزایش غلظت عصاره، قدرت آنتی‌اکسیدانی آن نیز افزایش یافته است و از این نظر تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌ها در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد. سایلک و همکاران (۲۰۱۲)، ترکیبات فنلی آلبالو را با روش خشک‌کن پاششی ریزپوشانی کردند. آن‌ها تأثیر نسبت‌های مختلف ماده هسته به ماده دیواره (۱:۱۰ و ۱:۲۰) را بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی عصاره ریزپوشانی شده موردبررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که نسبت ۱:۱۰ قدرت بالاتری در مهار رادیکال‌های ABTS دارد و حضور ترکیبات فنلی بیش‌تر در نسبت ۱:۱۰ در مقایسه با نسبت ۱:۲۰ را علت خاصیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تر دانسته‌اند [۳٦].

۳-۲-٤-بررسی خاصیت آنتی‌اکسیدانی با آزمون احیاکنندگی

در این روش توانایی عصاره‌ها برای احیاء آهن سه‌ظرفیتی و تبدیل آن به آهن دو ظرفیتی سنجیده می‌شود. حضور عوامل احیاءکننده منجر به احیاء کمپلکس‌های فری سیانید و تبدیل آن‌ها به فرم فروس می‌گردد. در این روش سنجش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی بر اساس جذب نوری صورت می‌گیرد.درواقع توان احیاکنندگی جذب نوری نمونه‌ها رابطه

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

مستقیمی با توان احیاکنندگی دارد یعنی جذب نوری بیشتر بیان‌گر خاصیت احیاکنندگی بیش‌تر است [۳۷]. نتایج آنالیز واریانس حاکی از آن بود که پودرهای هم‌متبلور ازنظر غلظت‌های متفاوت عصاره در قدرت احیاکنندگی اختلاف معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) با یکدیگر دارند. بیش‌ترین و کم‌ترین خاصیت احیاکنندگی به ترتیب مربوط به پودر هم‌متبلور حاوی ۱۰ درصد عصاره چای سبز و نمونه شاهد بود. سینگونگ و همکاران (۲۰۱٤) عصاره گیاه یانانگ را با روش خشک‌کن پاششی ریزپوشانی کردند. طبق گزارش آن‌ها نسبت ۱: ٤ ماده هسته به دیواره در مقایسه با نسبت ۱: ٦ دارای قدرت احیاکنندگی بالاتری بود. هم‌چنین قدرت بالاتری در بازدارندگی رادیکال‌های ABTS از خود نشان داد [۳۸].

۳-۲-۵- فعالیت مهار رادیکال هیدروکسیل

رادیکال هیدروکسیل از طریق واکنش Fenton از مولکول O_2 و H_2O_2 تولید می‌شود. اگرچه کاملاً آشکار نشده است که آیا واکنش Fenton مسئول تولید رادیکال هیدروکسیل در بافت‌های زنده تحت شرایط بیماری است یا واکنش‌های دیگری این رادیکال را ایجاد می‌کند. درهرصورت مهم این است که ظرفیت مهارکنندگی رادیکال هیدروکسیل توسط مواد غذایی و دارویی اندازه گرفته شود [۳۹]. در این روش از بنزوئیک اسید یا محلول ۱-داکسی ۱-ریبوز به‌عنوان منبع تولیدکننده فلوئورسنس استفاده می‌شود. رادیکال آزاد تولیدی با مواد تولیدکننده فلوئورسنس وارد واکنش شده و شدت تابش آن را کاهش می‌دهد. چنان چه در محیط آنتی‌اکسیدان وجود داشته باشد این تغییرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این خاصیت جهت تعیین ظرفیت مهارکنندگی آنتی‌اکسیدان استفاده می‌شود [٤۰]. همان‌طور که در جدول (۲) مشخص است، رابطه مستقیم بین غلظت عصاره در پودر هم‌متبلور و قدرت آن در مهار رادیکال‌های هیدروکسیل وجود داشته و با افزایش غلظت عصاره، قدرت مهارکنندگی آن نیز افزایش‌یافته است. به‌طورکلی ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای حاوی غلظت‌های مختلف عصاره نشان داده با افزایش غلظت عصاره، فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرها به‌گونه‌ای معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) افزایش می‌یابد و یک ارتباط خطی بین خاصیت مهارکنندگی رادیکال آزاد* و غلظت پلی‌فنل‌های عصاره‌ی آبی چای سبز مشاهده شد.

Table 2 Results of antioxidant activity tests of co-crystallized product

co-crystallized product	Total polyphenols content(mg of gallic acid/ 100 g co-crystallized)	DPPH inhibitoring activity (%)	ABTSinhibitoring activity (%)	Reducing Power(Absorbance in 700 nm)	Hydroxyl inhibitoring activity (%)
control	0.00 ± 0.00^{d}	3.44 ± 1.44^{d}	40.80 ± 0.55^{d}	0.47 ± 0.005^{d}	11.46 ± 1.33^{d}
3%	64.00 ± 0.01^{c}	24.79 ± 1.11^{c}	60.42 ± 1.88^{c}	0.66 ± 0.005^{c}	38.20 ± 2.25^{c}
5%	105.00 ± 0.02^{b}	43.11 ± 0.92^{b}	65.37 ± 1.37^{b}	0.76 ± 0.006^{b}	60.08 ± 0.88^{b}
10%	186.00 ± 0.03^{a}	56.90 ± 1.15^{a}	71.63 ± 1.69^{a}	0.81 ± 0.005^{a}	69.27 ± 1.03^{a}

*Values are means of 3 determinations ± SD. Same letters within a column indicate no significant difference ($P > 0.05$).

۳-۳- خواص فیزیکی و جریان‌پذیری پودر هم‌متبلور

۳-۳-۱- چگالی توده‌ای و ضربه‌ای

در مقایسه‌ی چگالی توده‌ای پودرهای هم‌متبلور، به‌طورکلی پودرهایی که دارای اندازه‌ی ذرات ۰/۵ میلی‌متر بودند از چگالی توده‌ای بالاتری برخوردار بودند. چگالی توده‌ای پودرها برای اندازه ذرات ۰/۵ میلی‌متر بین ۰/۷۱۷-۰/۷۱۰ (گرم/ سانتی‌متر مکعب) و برای اندازه ذرات ۱ میلی‌متر بین ۰/٦۸۷-۰/٦٦۹ (گرم/ سانتی‌متر مکعب) متغیر بود. هم‌چنین تفاوت معنی‌داری در میزان چگالی ضربه‌ای اندازه‌گیری شده برای نمونه‌ها با اندازه‌ی ذرات متفاوت (۰/۵ و ۱ میلی‌متر) در سطح ۵ درصد مشاهده شد. نتایج به‌دست‌آمده با دامنه مقادیر گزارش‌شده توسط بریستین و همکاران (۱۹۹٦) که روغن پوست پرتقال را در ماتریس ساکارز ریزپوشانی کردند، مطابقت داشت [۲۹]. در این مطالعه، همان‌گونه که در شکل (۱ و ۲) مشاهده می‌کنید غلظت‌های مختلف عصاره به‌کاربرده

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

شده در تولید پودر، تأثیر معنی‌داری بر تغییرات چگالی نداشتند درحالی‌که اندازه ذرات تأثیر معنی‌داری (P>۰/۰۵) را از خود نشان داد.

نادم و همکاران (۲۰۱۳)،تغییرات چگالی توده‌ای پودرهای حامل عصاره آبی نوعی چای کوهستانی که با روش خشک‌کن پاششی حاصل شد را بین ۰/۴۵۰–۰/۲۹۸ (گرم/سانتی‌متر مکعب) گزارش کردند. ۱۳ درصد افزایش چگالی توده‌ای با افزایش مواد حامل تا ۵ درصد مشاهده شد. آن‌ها این میزان از افزایش را به افزایش مواد جامد محلول ربط داده‌اند [۱۵].

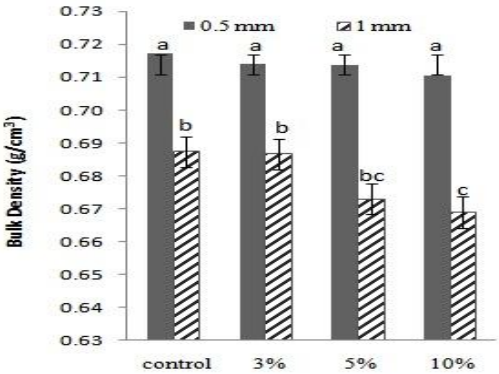


Fig 1 Bulk density of co-crystallized products with different particle size: (■) co-crystallized products retained in a 0.5 mm mesh and (▨) retained in a 1 mm mesh.

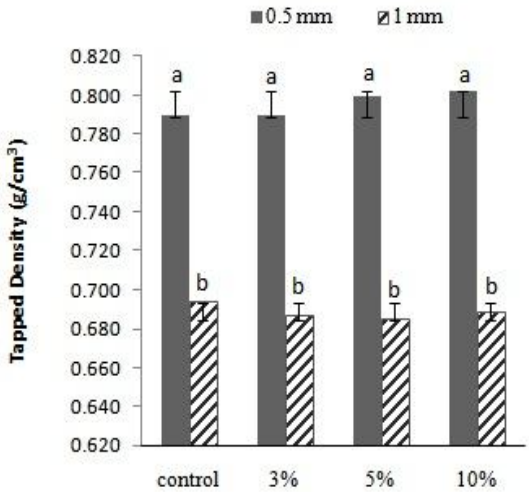


Fig 2 Tapped density of co-crystallized products with different particle size: (■) co-crystallized products retained in a 0.5 mm mesh and (▨) retained in a 1 mm mesh.

۳-۳-۲- نسبت هاسنر و شاخص تراکم‌پذیری

تمایل پودر به جریان در شرایط معینی (جریان‌پذیری) بر تعداد زیادی از کاربردهای صنعتی تأثیر می‌گذارد. انجام یک آزمون جریان‌پذیری، به دلیل تنوع مواد گرانولی قابل‌اعتماد و به‌طور گسترده‌ای قابل تعمیم نیست [۴۱]. شاخص‌های هاسنر، تراکم‌پذیری و زاویه ریپوز پارامترهای کاربردی برای ارزیابی خواص جریان پودر و همچنین تعیین قابلیت قرص شوندگی پودرها هستند.

نسبت هاسنر تابعی از چگالی توده‌ای و چگالی ضربه‌ای می‌باشد. این نسبت معمولاً برای بیان سهولت سیال سازی مواد پودری به کار می‌رود. پودرهایی که سیال‌ترند دارای نسبت هاسنر کمتر از ۱/۲۵ می‌باشند درحالی‌که پودرهایی که غیر سیال می‌باشند دارای نسبت هاسنر بیشتر از ۱/۴ می‌باشند [۴۲]. نسبت هاسنر برای اندازه ذرات ۰/۵ میلی‌متر بین ۱/۱۳–۱/۱۰ و برای اندازه ذرات ۱ میلی‌متر بین ۱/۰۴۱– ۱/۰۲۹ متغیر بود. همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌کنید اندازه ذرات تأثیر معنی‌داری بر مقدار نسبت هاسنر داشتند. نسبت هاسنر معیاری از جریان‌پذیری مواد توده‌ای است لذا کاهش نسبت هاسنر با افزایش اندازه ذرات بیانگر افزایش جریان‌پذیری مواد توده‌ای می‌باشد. هرچه اندازه ذرات ریزتر باشد، تعداد ذرات بیش‌تری باهم درتماسند که منجر به افزایش فضای خالی بین آن‌ها می‌شود. درواقع ذرات، تشکیل قوس‌های مکانیکی داده که باعث ایجاد فضاهای خالی زیادی در توده مواد می‌شود. حال اگر این توده مواد ریز، تحت ضربه قرار گیرند این فضاهای خالی درهم‌شکسته شده و ذرات در کنار هم قرار می‌گیرند و این باعث می‌شود که دانسیته ضربه‌ای کم و درنتیجه نسبت هاسنر افزایش یابد [۴۳]. با توجه به مقادیر گزارش‌شده برای نسبت هاسنر، پودرهای به‌دست‌آمده طی فرایند هم‌تبلوری از جریان‌پذیری مناسبی برخوردارند. نتایج مشابهی برای پودرهای هم‌متبلور حاوی عصاره‌ی مته گزارش‌شده است [۱۷]. نسبت هاسنر و تراکم‌پذیری بالا نشان‌دهنده توانایی فشردگی مواد است درحالی‌که مواد با نسبت هاسنر و تراکم‌پذیری پایین جریان پذیری آزاد دارند [۴۳]. تغییرات شاخص تراکم‌پذیری با افزایش اندازه ذرات دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

۳-۳-۳- زاویه ریپوز

طبق طبقه‌بندی پلگ (۱۹۷۷)، فراورده‌های پودری با زاویه‌ی ریپوز °۵۰ و بالاتر از آن خصوصیات جریان‌پذیری نامناسب و

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

در مقابل فراورده‌های پودری با زاویه‌ی ریپوز کمتر از °٤٠ دارای خصوصیات جریان‌پذیری مناسبی می‌باشند[٤٤]. مقادیر زاویه‌ی ریپوز برای پودر هم‌متبلور در جدول (٣) آورده شده است. نتایج تفاوت معنی‌دار (P<٠/٠٥) در مقادیر زاویه‌ی ریپوز اندازه‌گیری شده برای پودرهای هم‌متبلور با اندازه‌ی ذرات ٠/٥ و ١ میلی‌متر نشان داد. پودرهایی با اندازه‌ی ذرات ٠/٥ میلی‌متر زاویه‌ی ریپوز بیش‌تر درنتیجه جریان‌پذیری کمتری در مقایسه با پودرها با اندازه‌ی ذرات ١ میلی‌متر داشتند. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های تنو و همکاران (١٩٩٥) که اثر اندازه بر ویژگی‌های جریانی شکر آگلومره شده در اندازه‌های مختلف را موردمطالعه قرار داده بودند مطابقت داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش اندازه‌ی ذرات، زاویه‌ی ریپوز کاهش می‌یابد که این عمدتاً به دلیل کاهش تمایل به جاذب-الرطوبه بودن و چسبندگی ذرات بزرگ‌تر به یکدیگر می-باشد[٤٥]. نتایج حاصل از دانسیته، شاخص تراکم‌پذیری، زاویهٔ ریپوز و نسبت هاسنر همگی حاکی از مناسب بودن خواص حرکتی و جریان‌یابی پودرهای هم‌متبلور می‌باشد.

Table 3 Flowability of control and co-crystallized products with different particle size.

Co-Crystallized Product	Hausner Ratio		Compressibility Index		Repose Angle (°)	
	0.5 mm	1 mm	0.5 mm	1 mm	0.5 mm	1 mm
control	1.100 ± 0.20^{a}	1.041 ± 0.03^{b}	0.091 ± 0.08^{a}	0.039 ± 0.40^{d}	38.66 ± 0.04^{a}	34.00 ± 0.01^{b}
3%	1.106 ± 0.01^{a}	1.031 ± 0.10^{b}	0.096 ± 0.04^{a}	0.030 ± 0.20^{c}	37.00 ± 0.01^{a}	34.04 ± 0.11^{b}
5%	1.121 ± 0.05^{a}	1.030 ± 0.20^{b}	0.107 ± 0.10^{a}	0.028 ± 0.25^{b}	36.33 ± 0.01^{a}	31.66 ± 0.15^{b}
10%	1.130 ± 0.20^{a}	1.029 ± 0.05^{b}	0.115 ± 0.02^{a}	0.028 ± 0.20^{a}	38.33 ± 0.02^{a}	32.33 ± 0.25^{b}

*Values are means of 3 determinations ± SD. Same letters within a column indicate no significant difference (P > 0.05).

٣-٤- مقدار رطوبت و فعالیت آبی

میانگین محتوای رطوبتی پودرهای هم‌متبلور در جدول (٤) آمده است. با افزایش درصد عصاره در ترکیب دیواره، رطوبت نمونه افزایش یافت اما تفاوت معنی‌داری (P>٠/٠٥) در میزان محتوای رطوبتی برای پودرهای حاوی مقادیر مختلف عصاره مشاهده نشد. بندری و هارتل (٢٠٠٢) که فرایند هم‌تبلوری ساکارز را در حضور غلظت‌های بالای گلوکز و فروکتوز موردبررسی قرار دادند، گزارش کردند میزان رطوبت فراورده‌ی هم‌متبلور فاقد ترکیبات فعال درنتیجه‌ی وجود بخش‌های بلوری در فراورده، بسیار پایین است. درصورتی‌که با افزایش میزان گلوکز و فروکتوز به دلیل افزایش نواحی آمورف در فراورده، محتوای رطوبتی افزایش می‌یابد. به‌طورکلی رطوبت محصول تحت تأثیر درجه حرارت و رطوبت بخار هوا قرار دارد [٢٦ و ٤٦]. محتوای رطوبتی پلی‌فنل‌های ریزپوشانی شده چای سبز با روش خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی به ترتیب بین ٧/٤- ٣/٦٦ و ١١- ٤/٨٥ درصد توسط پاسریجا و همکاران (٢٠١٥) گزارش شد [١٣]. دامنه فعالیت آبی پودرهای هم‌متبلور نیز بین ٠/٢٩٠- ٠/٣٢٢ بود. دلادینو و همکاران (٢٠٠٧) میزان فعالیت آبی را برای پودرهای هم‌متبلور حاوی عصاره‌ی یربا مته همراه نمک‌های معدنی کمتر از ٠/٤٧ گزارش کردند. در پژوهشی دیگر محتوای رطوبتی عصاره نوعی چای کوهستانی که با خشک‌کن پاششی ریزپوشانی شد کمتر از ٥ درصد و فعالیت آبی پودر در محدوده ٠/٢٩٤- ٠/٢٥٣ برای نمونه کنترل و ٠/٤٠٢- ٠/٢٥٨ برای نمونه‌های حاوی مواد حامل گزارش شد. با افزایش میزان مواد حامل درواقع غلظت هیدروکلوئید نیز افزایش‌یافته و منجر به کاهش فعالیت آبی شد [١٥ و ٣].

٣-٥- میزان درصد جذب رطوبت

در جدول (٤) میزان جاذب‌الرطوبگی پودرها که مورد آزمون قرار گرفتند مشاهده می‌شوند. میزان درصد جذب رطوبت در نمونه‌هایی که دارای درصد بالاتری از عصاره در ترکیب خود بودند افزایش یافت که این امر را می‌توان به افزایش میزان عصاره‌ی بارگیری شده در پودر نسبت داد. در تحقیقی مشابه که توسط دلادینو و همکاران (٢٠٠٧)، بر عصاره یربا مته به روش هم‌تبلوری انجام شد، با بررسی اثر غلظت‌های متفاوت عصاره بر میزان جاذب‌الرطوبگی پودرها مشاهده شد که با

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

افزایش غلظت عصاره توانایی جذب رطوبت پودر ریزپوشانی‌شده بالا رفته و موجب حساسیت بیشتر نسبت به واکنش‌های تخریبی در طی زمان نگهداری شد [۳۱]. همچنین تفاوت معنی‌داری در میزان جاذب‌الرطوبگی برای پودرها با اندازه‌ی ذرات مختلف مشاهده نشد که با نتایج کاردوبا و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت داشت [۱۷]. پودرهای ریزپوشانی شده عمدتاً تحت تأثیر سطح و ساختار ذرات قرار دارند. اگر میزان جاذب‌الرطوبگی پودر کمتر از ۱۰ درصد باشد می‌توان به‌عنوان پودر فاقد خاصیت جاذب‌الرطوبگی در نظر گرفت [٤۷].

Table 4 Physical properties of control and co-crystallized products.

Co-Crystallized Product	Hygroscopicity (%)		Moisture Content (%)	Water Activity (%)
	0.5 mm	1 mm		
control	0.120 ± 0.008^{d}	0.120 ± 0.008^{d}	0.133 ± 0.09^{a}	0.29 ± 0.02^{b}
3%	0.147 ± 0.004^{c}	0.133 ± 0.009^{cd}	0.140 ± 0.45^{a}	0.302 ± 0.25^{ab}
5%	0.217 ± 0.004^{b}	0.207 ± 0.012^{b}	0.153 ± 0.02^{a}	0.322 ± 0.12^{ab}
10%	0.347 ± 0.009^{a}	0.340 ± 0.008^{a}	0.157 ± 0.20^{a}	0.316 ± 0.10^{ab}

*Values are means of 3 determinations ± SD. Same letters within a column indicate no significant difference ($P > 0.05$).

۳-٦- حلالیت

میزان حلالیت ساکارز، نمونه‌ی شاهد هم‌متبلور و پودرهای هم‌متبلور حاوی عصاره ۳، ۵ و ۱۰ درصد چای سبز در واحد زمان در شکل (۳) آورده شده است.

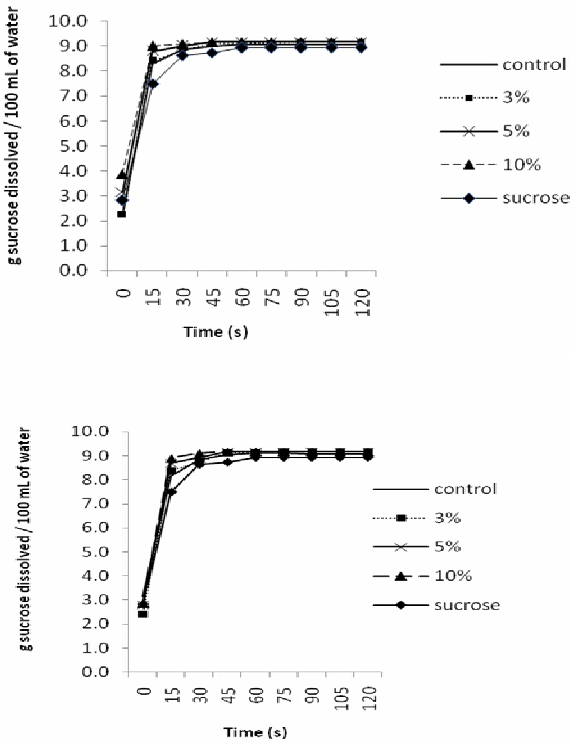


Fig 3 Solubilityof co-crystallized products with different particle size: (a) co-crystallized products retained in a 0.5 mm mesh and (b) retained retained in a 1 mm mesh.

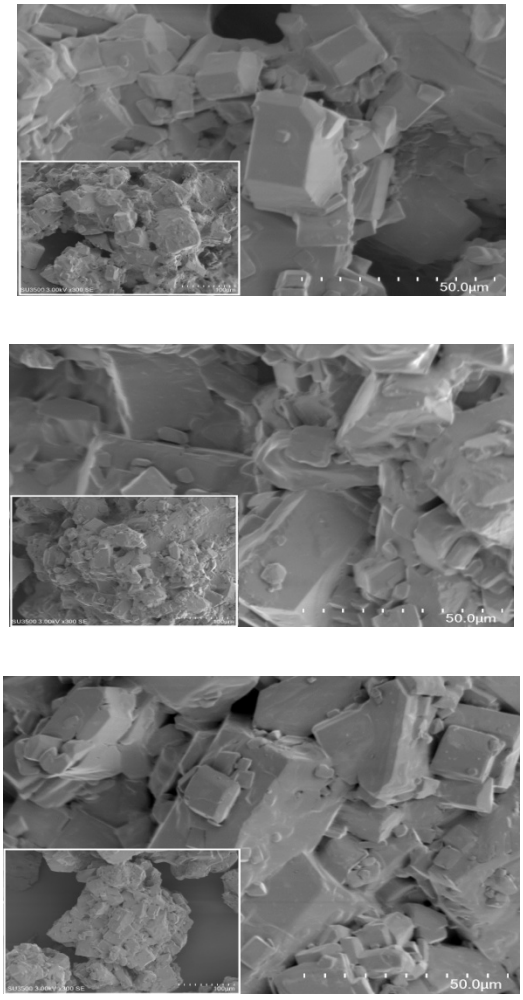
مدت‌زمان حلالیت برای همه‌ی نمونه‌ها در حدود ٤۵ ثانیه تعیین شد زیرا بعد از گذشت این زمان تفاوتی در جرم ساکارز خوانده‌شده توسط دستگاه رفرکتومتر مشاهده نشد. سرعت حلالیت برای ساکارز در مقایسه با نمونه‌ی شاهد هم‌متبلور و نیز فراورده‌ی هم‌متبلور حاوی عصاره‌ی آبی در زمان‌های ۰، ۱۵، ۳۰،٤۵ ثانیه در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۵$). درواقع فرایند هم‌تبلوری ساختار متراکم و منظم ساکارز را به ساختاری نامنظم تبدیل و ترکیبات فعال در فضای متخلخل ایجادشده جای می‌گیرند. با توجه به تخلخل، محلول-های آبی می‌توانند به‌راحتی به این ساختارها نفوذ کرده و ترکیبات هسته را به‌منظور حلالیت آزاد کنند [٤۸]. با افزایش غلظت عصاره تفاوت معنی‌داری در سرعت حلالیت پودرهای هم‌متبلور حاوی غلظت‌های مختلف عصاره مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج کاردوبا و همکاران (۲۰۱٤) مطابقت داشت[۱۷].

۳-۷- میکروسکوپ الکترونی

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، ساختار سطحی همه نمونه‌ها به‌صورت متخلخل می‌باشد که درنتیجه‌ی شکل-گیری آگلومره‌های خوشه‌مانند است. ترکیبات فعال طی فرایند هم‌تبلوری در این فضاها قرار می‌گیرند و درواقع کارایی فرایند ریزپوشانی در روش هم‌تبلوری به ایجاد یک ساختار متخلخل وابسته است. مشاهدات مشابهی برای پودرهای هم‌متبلور حاوی عصاره‌ی یربا مته (کاردوبا و همکاران، ۲۰۱٤)، پودر هم‌متبلور حاوی عصاره‌ی یربا مته و نمک‌های معدنی (دلادینو

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

و همکاران، ۲۰۰۷، ۲۰۱۰) و پودرهای هم‌متبلور حاوی فروکتوز و گلوکز (بی‌هاندری و هارتل، ۲۰۰۲) ارائه شده است که با مشاهدات حاصل از این پژوهش مطابقت دارد [۱۷، ۳۱ و ٤٦].



a

b

c

Fig 4 SEM microphotographs of co-crystallized products: (a) sucrose (b) 3% green tea extract (c) 10% green tea extract.

٤- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان‌دهنده‌ی کارایی فرایند هم-تبلوری در تولید پودرهای حاوی ترکیبات فنولی عصاره‌ی چای سبز با ویژگی‌های فیزیکی از قبیل مقدار رطوبت پایین، حلالیت و رفتار جریان‌پذیری مناسب بوده و همچنین تعیین محتوای فنل کل در غلظت‌های استفاده شده نشان‌دهنده‌ی اثر مستقیم این شاخص بر مقدار هر یک از شاخص‌های آنتی-اکسیدانی می‌باشد. ارزیابی تصاویر میکروسکوپ الکترونی بر وجود آگلومره‌های خوشه‌ای متخلخل دلالت داشت که این خود نشان‌دهنده‌ی قرارگیری ترکیبات در ساختار فراورده هم‌متبلور می‌باشد. در انتها با توجه ویژگی‌های ذکر شده می-توان گفت این فراورده می‌تواند در محصولات قنادی، دسر و همچنین در آبنبات و شکلات که در فرمولاسیون آن‌ها از مقدار زیادی ساکارز استفاده شده است به کار رود.

٥- منابع

[1] Bhagwat, S., Beecher, G. R., Haytowitz, D. B., Holden, J.M., Dwyer, J., Peterson, J. and Gebhardt S. E. 2003. Flavonoid composition of tea: Comparison of black and green teas. Agricultural Research Service. Usda database for the flavonoidcontent of selected foods. Home Page. Available:http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp

[2] Kumar, A. 2006. Antioxidants: Natural and Synthetic. Amani International Publishers, ISBN-10: 3-938054-05-0.

[3] Wijngaard, H.H., Rößle, C. and Brunton, N., 2009. A survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, *116*(1), pp.202-207

[4] Klein, T., Longhini, R., Bruschi, M.L. and de Mello, J.C., 2015. Microparticles containing guaraná extract obtained by spray-drying technique: development and characterization. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, *25*(3), pp.292-300.

[5] Sen, S., Chakraborty, R., Sridhar, C., Reddy, Y. S. R. and De B. 2010. FreeRadicals, Antioxidants, Diseases and Phytomedicines: Current Status andFuture Prospect. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review andResearch. 3: 91-100.

[6] Kim, E.S., Liang, Y.R., Jin, J., Sun, Q.F., Lu, J.L., Du, Y.Y. and Lin, C., 2007. Impact of heating on chemical compositions of green tea liquor. *Food chemistry*, *103*(4), pp.1263-1267.

[7] Ananingsih, V.K., Sharma, A. and Zhou, W., 2013. Green tea catechins during food processing and storage: a review on stability and detection. *Food Research International*, *50*(2), pp.469-479.

[8] Hundre, S.Y., Karthik, P. and Anandharamakrishnan, C., 2015. Effect of whey protein isolate and β-cyclodextrin wall systems on stability of microencapsulated vanillin by spray–freeze drying method. *Food chemistry*, *174*, pp.16-24.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[9] Karthik, P. and Anandharamakrishnan, C., 2013. Microencapsulation of docosahexaenoic acid by spray-freeze-drying method and comparison of its stability with spray-drying and freeze-drying methods. *Food and Bioprocess Technology*, *6*(10), pp.2780-2790.

[10] Jackson, L.S. and Lee, K., 1991. Microencapsulation and the food industry. *Lebensm. Wiss. Technol*, *24*(4), pp.289-297.

[11] Bhandari, B.R., Datta, N., D'Arcy, B.R. and Rintoul, G.B., 1998. Co-crystallization of honey with sucrose. *LWT-Food Science and Technology*, *31*(2), pp.138-142.

[12] Chen, A.C., Veiga, M.F. and Rizzuto, A.B., 1988. Cocrystallization: an encapsulation process. *Food technology (USA)*.

[13] Pasrija, D., Ezhilarasi, P.N., Indrani, D. and Anandharamakrishnan, C., 2015. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, *64*(1), pp.289-296.

[14] Wang, J., Li, H., Chen, Z., Liu, W. and Chen, H., 2016. Characterization and storage properties of a new microencapsulation of tea polyphenols. *Industrial Crops and Products*, *89*, pp.152-156.

[14] Nadeem, H.Ş., Torun, M. and Özdemir, F., 2011. Spray drying of the mountain tea (Sideritisstricta) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT-Food Science and Technology*, *44*(7), pp.1626-1635.

[16] Bhushani, J.A., Kurrey, N.K. and Anandharamakrishnan, C., 2017. Nanoencapsulation of green tea catechins by electrospraying technique and its effect on controlled release and in-vitro permeability. *Journal of Food Engineering*, *199*, pp.82-92.

[17] Jayasekera, S., Molan, A.L., Garg, M. and Moughan, P.J., 2011. Variation in antioxidant potential and total polyphenol content of fresh and fully-fermented Sri Lankan tea. *Food chemistry*, *125*(2), pp.536-541.

[18] Malik, N.S.,&Bradford, J.M. 2008. Recovery and stability of oleuropein and other phenolic compounds during extraction and processing of olive (Oleaeuropaea L.) leaves.Journal of Food Agriculture and Environment,6(2): 8-13.

[19] López-Córdoba, A., Deladino, L., Agudelo-Mesa, L. and Martino, M., 2014. Yerba mate antioxidant powders obtained by co-crystallization: Stability during storage. *Journal of Food Engineering*, *124*, pp.158-165.

[20] Singleton, V. L., Orthofer, R., and Lamuela-Raventos, R. M.1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, *299*: 152-178.

[21] You, L., Zhao, M., Regenstein, J.M. and Ren, J., 2010. Changes in the antioxidant activity of loach (Misgurnusanguillicaudatus) protein hydrolysates during a simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, *120*(3), pp.810-816.

[22] Ahmadi, F., Kadivar, M. and Shahedi, M., 2007. Antioxidant activity of KelussiaodoratissimaMozaff. in model and food systems. *Food chemistry*, *105*(1), pp.57-64.

[23] Jamdar, S.N., Rajalakshmi, V., Pednekar, M.D., Juan, F., Yardi, V. and Sharma, A., 2010. Influence of degree of hydrolysis on functional properties, antioxidant activity and ACE inhibitory activity of peanut protein hydrolysate. *Food Chemistry*, *121*(1), pp.178-184.

[24] Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G., 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. *Journal of Food Engineering*, *66*(1), pp.25-34.

[25] Pordesimo, L.O., Onwulata, C.I. and Carvalho, C.W.P., 2009. Food powder delivery through a feeder system: effect of physicochemical properties. International Journal of Food Properties, 12(3), pp.556-570.

[26] Jinapong, N., Suphantharika, M. and Jamnong, P., 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, *84*(2), pp.194-205.

[27] AOAC. (2005). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, Vol. II. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.

[28] Callahan, J.C., Cleary, G.W., Elefant, M., Kaplan, G., Kensler, T. and Nash, R.A., 1982. Equilibrium moisture content of pharmaceutical excipients. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, *8*(3), pp.355-369.

[29] Beristain, C.I., Mendoza, R.E., Garcia, H.S. and Vazquez, A., 1994. Cocrystallization of Jamaica (Hibiscus

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

[39] Chung, K., Haddad, L., Ramakrishna, J. and Riely, F., 1997. Identifying the food insecure: The application of mixed method approaches in India. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, USA. *Washington, DC, USA*.

[40] Mandal, P., Misra, T.K. and Ghosal, M., 2009. Free-radical scavenging activity and phytochemical analysis in the leaf and stem of Drymaria diandra Blume. *Int J Integr Biol*, *7*(2), pp.80-84 [30] Capannesi, C., Palchetti, I., Mascini, M. and Parenti, A., 2000. Electrochemical sensor and biosensor for polyphenols detection in olive oils. *Food Chemistry*, *71*(4), pp.553-562.

[41] Santomaso, A., Lazzaro, P. and Canu, P., 2003. Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing. *Chemical Engineering Science*, *58*(13), pp.2857-2874.

[42] Geldart, D.N.A.C., Harnby, N. and Wong, A.C., 1984. Fluidization of cohesive powders. *Powder Technology*, *37*(1), pp.25-37.

[43] Bodhmage, A.K., 2006. *Correlation between physical properties and flowability indicators for fine powders* (Doctoral dissertation).

[44] Peleg, M., 1977. Flowability of food powders and methods for its evaluation—a review. *Journal of Food Process Engineering*, *1*(4), pp.303-328.

[45] Teunou, E., Vasseur, J. and Krawczyk, M., 1995. Measurement and interpretation of bulk solids angle of repose for industrial process design. Powder Handling and Processing, 7(3), pp.219-228.

[46] Bhandari, B.R. and Hartel, R.W., 2002. Co□crystallization of Sucrose at High Concentration in the Presence of Glucose and Fructose. Journal of food science, 67(5), pp.1797-1802.

[47] Bhandari, B.R., Bansal, N., Zhang, M. and Schuck, P. eds., 2013. *Handbook of food powders: Processes and properties*. Elsevier.

[48] Shahidi, F. and Han, X.Q., 1993. Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, *33*(6), pp.501-547.

[49] Mandal, P., Misra, T.K. and Ghosal, M., 2009. Free-radical scavenging activity and phytochemical analysis in the leaf and stem of Drymaria diandra Blume. *Int J Integr Biol*, *7*(2), pp.80-84.

sabdarifa L.) granules. *LWT-Food Science and Technology*, *27*(4), pp.347-349.

[30] López-Córdoba, A., Matera, S., Deladino, L., Hoya, A., Navarro, A. and Martino, M., 2015. Compressed tablets based on mineral-functionalized starch and co-crystallized sucrose with natural antioxidants. *Journal of Food Engineering*, *146*, pp.234-242.

[31] Deladino, L., Anbinder, P.S., Navarro, A.S. and Martino, M.N., 2007. Co-crystallization of yerba mate extract (Ilex paraguariensis) and mineral salts within a sucrose matrix. *Journal of food engineering*, *80*(2), pp.573-580.

[32] Zhang, Z., Liao, L., Moore, J., Wu, T. and Wang, Z., 2009. Antioxidant phenolic compounds from walnut kernels (Juglans regia L.). *Food chemistry*, *113*(1), pp.160-165.

[33] Rumbaoa, R.G.O., Cornago, D.F. and Geronimo, I.M., 2009. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine potato (Solanum tuberosum) tubers. *Journal of Food Composition and Analysis*, *22*(6), pp.546-550.

[34] Shojaee-aliabadi, S. and Hosseini, S.M., 2016. A Comprative Study of Antimicrobial and Antioxidant Properties of Walnut Green Husk Aqueous Extract before and after Microencapsulation. Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology, 11(2), pp.113-124.

[35] Tengse, D.D., Priya, B. and Kumar, P.A.R., 2017. Optimization for encapsulation of green tea (Camelliasinensis L.) extract by spray drying technology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *11*(1), pp.85-92.

[36] Cilek, B., Luca, A., Hasirci, V., Sahin, S. and Sumnu, G., 2012. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace: effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio. *European Food Research and Technology*, *235*(4), pp.587-596.

[37] Jayaprakasha, G.K., Singh, R.P. and Sakariah, K.K., 2001. Antioxidant activity of grape seed (Vitis vinifera) extracts on peroxidation models in vitro. *Food chemistry*, *73*(3), pp.285-290.

[38] Singthong, J., Oonsivilai, R., Oonmetta-Aree, J. and Ningsanond, S., 2014. Bioactive compounds and encapsulation of Yanang (Tiliacora triandra) leaves. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, *11*(3), pp.76-84.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]

Physiochemical properties and antioxidant activities of green tea extract microencapsulated by co-crystallization technique

Akbari, M. [1], Sadeghi Mahoonak, A. [2*], Sarabandi, Kh. [3], Ghorbani, A. [1]

1. MSc, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Ph.D, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 2018/02/04 Accepted:2018/05/20)

Green tea leaf is a non-fermented product which contains many phenolic compounds. Green tea polyphenols are natural compound with antioxidants and anti-carcinogenic potential. Polyphenols are sensitive to environmental conditions. To improve the stability of polyphenols, green tea extract was microencapsulated by co-crystallization technique. Entrapment yield, loading capacity, antioxidant activity, characteristics of co-crystallized product such as moisture, water activity, bulk and tapped density, solubility and hygroscopicity, morphology as well as flow ability properties of powder (carr index, hausner ratio and angle of repose) were characterized. It was revealed that the effect of concentration on total phenolic compounds of co-crystallized products was significant ($p<0.05$). Encapsulation efficiency was increased by raising the extract concentration. The 10% concentration of microencapsulated extract showed the highest DPPH scavenging activity, ABTS and hydroxyl radicals inhibition activity, and reducing power (56.90, 69.37, 71.63% & 0.81, respectively). The difference in particle size of co-crystallized product was significantly ($p<0.05$) influenced the flow properties. In general, the values of water activity, moisture content and hygroscopicity showed that co-crystallized product was stable and it had good characteristics during storage. Therefore, microencapsulation by co-crystallization technique can be used as an efficient method for increasing the stability of green tea extract against the environmental conditions.

Keywords: Antioxidant activity, Aqueous extract, Co-crystallization, Green tea, Hygroscopicity.

*Corresponding Author E-Mail Address: Sadeghiaz@yahoo.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-25]