DOI: http://dx.doi.org/ 10.22104/JIFT. 2018.2603.1614

Archive

فصلنامه فناوری‌های نوین غذایی، دوره ۶، شماره ۳، صفحه ۴۵۳-۴۴۱، بهار ۱۳۹۸

مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و آنتی‌اکسیدانی ریزکپسول‌های حاوی عصاره بهارنارنج تهیه‌شده با روش خشک‌کردن پاششی

الهه سادات غزالی[۱]، مهدی قره‌خانی [۲*]، حامد همیشه‌کار [۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز
۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز
۳. دانشیار، مرکز تحقیقات دارویی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز

(تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۱۱/۲۷، تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۸)

چکیده

در این پژوهش ریزپوشانی ترکیبات پلی‌فنولی عصاره بهارنارنج با هدف ارائه راه‌حل برای بهبود پایداری و محافظت از آن‌ها در برابر اکسیداسیون، نور، رطوبت و دما مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور یک دستگاه خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی برای تولید ریزکپسول‌های عصاره بهارنارنج با استفاده از مالتودکسترین (MD)، صمغ‌عربی (GA) و ترکیب این دو (MD+GA) به‌عنوان مواد پوشش‌دهنده استفاده شد. آزمون‌های بازده تولید پودر، محتوای ترکیبات فنولی و بازده ریزپوشانی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، رطوبت، قابلیت جذب رطوبت، چگالی‌توده‌ای، حلالیت، شکل و اندازه ذرات مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق به وضوح نشان داد که محصورسازی عصاره بهارنارنج توسط خشک‌کن‌پاششی با استفاده از مالتودکسترین مؤثر بوده و بهره‌وری بالاتر از ۹۰ ٪ نسبت به دو ماده دیواره‌ای دیگر داشت. هم‌چنین ریزکپسول مالتودکسترین دارای بازده تولید پودر بالاتر برابر ۸۷/۴۰٪، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بهتر در حدود ۶۰/۹۱ ٪، رطوبت پایین برابر ۲/۱۰ ٪، جذب رطوبت پایین برابر ۴۵/۷۶٪، چگالی‌توده‌ای پایین برابر ۰/۴۴۹g/ml، حلالیت بالا در حدود ۷۹/۳۸٪ و ساختار شکل مناسب‌تر از ریزکپسول‌های دیگر بود. درخصوص اندازه ذرات تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده نشد. در نهایت ریزکپسول عصاره بهارنارنج خشک شده با مالتودکسترین، به‌عنوان کارآمدترین ریزکپسول ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: ریزپوشانی، بهارنارنج، ترکیبات فنولی، خشک‌کردن پاششی، صمغ‌عربی، مالتودکسترین.

* نویسنده مسئول: m.gharekhani@iaut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

ترکیبات فنولی که به تازگی از گیاهان دارویی به‌دست می‌آیند، با توجه به نقش زیست فعالی و آنتی‌اکسیدانی‌شان توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. بهارنارنج با نام علمی *Citrus aurantium* و متعلق به خانواده Rutaceae، از درخت نارنج به ارتفاع ۴ تا ۵ متر با برگ‌های براق و گل‌های معطر و سفید رنگ به‌دست می‌آید[۱]. آنالیز فیتوشیمیایی عصاره بهارنارنج بیان‌گر وجود ترکیباتی مانند لینالول، لینالول‌اکسید، لیمونن، پی‌نن، نرولیدل، ژرانیول، نرول، متیل‌آنترانیلات و فارنه‌سول می‌باشد[۲، ۳]. در بین این ترکیبات، لینالول از سایر ترکیبات بیش‌تر و جزء غالب عصاره می‌باشد[۲]. هم‌چنین وجود این ترکیبات فنولی (پلی‌فنول‌ها) در بهارنارنج به‌دلیل ظرفیت آنتی‌اکسیدانی طبیعی باعث به دام افتادن رادیکال‌های آزاد شده و از این طریق مانع فرایندهای اکسیداتیو در بدن می شوند[۴]. از فعالیت‌های بیولوژیکی بهارنارنج می‌توان اثر آنتی‌اکسیدانی، ضد تومور، ضد انعقاد و ضد سرطانی آن نام برد[۵، ۶]. با این حال بسیاری از موادمغذی که مصرف آن‌ها برای حفظ سلامت انسان ضروری و از نظر بیولوژیکی فعال هستند، در حضور نور، اکسیژن، گرما و یا در شرایط pH خاص دستگاه گوارش، ناپایدار می‌شوند، که چالش بزرگی برای ترکیب آن‌ها در محصولات غذایی ایجاد می‌کند[۷]. برای تامین امنیت شیمیایی و پایداری فیزیکی موادمغذی حساس موجود در مواد غذایی، در دستگاه گوارش، نیاز است که این مواد فعال به‌عنوان هسته در یک حامل یا پوشش جهت ارائه لایه محافظ مواد فعال برای پیش‌گیری از تخریب به‌وسیله عوامل محیط بیرونی[۸] با قطر چند نانومتر تا چند میلی‌متر محصور شوند[۹]. ریزپوشانی یک فناوری پایدار برای حفاظت و رهایش کنترل‌شده موادغذایی است[۱۰]، که در آن ذرات یا قطرات کوچک از یک جزء کوچک مانند آنتی‌اکسیدان، ویتامین، رنگدانه طبیعی و آنزیم به‌وسیله ماده‌ای دیگر به‌نام دیواره احاطه می‌شوند که این ماتریس همگن یا ناهمگن، منجر به شکل‌گیری ریزکپسول می‌شود[۱۱]. شایع‌ترین فرایند ریزپوشانی روش خشک‌کردن پاششی می‌باشد، که در حفاظت مؤثر از ترکیبات پلی‌فنولی اثبات شده است[۴]. کربوهیدرات‌هایی مانند مالتودکسترین یکی از مواد دیواره‌ای اصلی مورد استفاده برای محافظت ترکیبات پلی‌فنولی هستند[۱۲]. در مطالعاتی که تاکنون در خصوص آنتی‌اکسیدانی بهارنارنج در ایران صورت گرفته می‌توان به بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره بهارنارنج در مقایسه با ترشری‌بوتیل‌هیدروکوئینون (TBHQ) در روغن ذرت تیمار شده با اشعه فرابنفش اشاره کرد[۱۳]. مقالات متنوعی نیز وجود دارد که به تولید ریزکپسول‌های حاوی ترکیبات پلی‌فنولی پرداخته‌اند که می‌توان به مطالعه کورشیان و همکاران[۱۴]، در خصوص ریزپوشانی عصاره تهیه‌شده از تمشک به‌وسیله خشک‌کن پاششی و با استفاده از نسبت‌های متفاوت مالتودکسترین و صمغ‌عربی به‌عنوان عامل پوشش‌دهنده اشاره کرد. هم‌چنین رجبی و همکاران[۱۵]، ریزپوشانی زعفران توسط پلی‌مرهای زیستی مختلف به‌عنوان یک راه مؤثر برای حفظ ترکیبات فعال آن را بررسی کردند. از دیگر مطالعات می‌توان به توسعه ترکیبات فیتوشیمیایی رزماری از طریق ریزکپسول کردن توسط خشک‌کن پاششی[۱۶] و تولید ریزکپسول ترکیبات حساس پلی‌فنولی انگور توسط خشک‌کن‌پاششی با مواد پوششی مالتودکسترین و صمغ‌عربی[۱۷] اشاره کرد. در این مطالعه، ریزپوشانی با استفاده از مالتودکسترین، صمغ‌عربی و مخلوط مساوی این دو به‌عنوان مواد پوششی مورد بررسی قرار گرفت. این مواد به‌دلیل حلالیت بالا، سازگاری زیستی، سمی نبودن و کم هزینه بودن، انتخاب شدند [۱۸، ۱۹]. با کپسوله‌سازی، ثبات ترکیبات حساس در طول تولید، ذخیره سازی و مصرف افزایش می‌یابد[۲۰]. باتوجه به اهمیت عصاره‌های گیاهان دارویی در تولید مواد غذایی فراسودمند و گسترش محصولات مفید جدید در صنایع‌غذایی، و ضمن این‌که تاکنون پژوهشی در زمینه تولید ریزکپسول‌های حاوی عصاره بهارنارنج صورت نگرفته است، هدف از این مطالعه بررسی خصوصیات ریزکپسول‌های عصاره بهارنارنج تهیه شده با روش خشک‌کن پاششی می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد

مالتودکسترین (با دکستروز اکی‌والان ۲۰-۱۸) و صمغ‌عربی به‌عنوان مواد دیواره‌ای از شرکت مرک آلمان، ۲،۲دی‌فنیل-۱ پیکریل‌هیدرازیل (DPPH) از شرکت سیگما آلمان، سدیم‌کربنات و معرف فولین‌سیوکالتو از شرکت مرک آلمان و گل بهارنارنج از بازار تبریز خریداری شدند.

www.SID.ir

Archive of SID

۲.۲. روش‌ها

۱.۲.۲. روش عصاره‌گیری

استخراج عصاره به‌روش لوپزکاردبا و همکاران [۲۱] با کمی تغییر، در چند مرحله توسط بن‌ماری و با استفاده از حلال آب مقطر انجام یافت. بدین‌ترتیب که گل بهارنارنج با آب مقطر (به نسبت۱:۱۰w/v) مخلوط، و به‌مدت ۶۰min تحت هم‌زدن مغناطیسی قرارگرفت. سپس مخلوط حاصل در حمام بن‌ماری با دمای ۸۰°C به‌مدت ۴ min قرار گرفت. پس از جمع‌آوری عصاره آبی، محلول به‌دست‌آمده در سانتریوفوژ با دور ۶۰۰۰rpm به‌مدت ۵ min ، در چند مرحله صاف شد و عصاره صاف شده در ظروف تیره در یخچال با دمای ۴°C نگه‌داری شد. **۲.۲.۲. تولید ریزکپسول به روش خشک‌کردن پاششی**

جهت تهیه ریزکپسول، از روش تورس و همکاران [۴] با کمی تغییر استفاده شد. بدین‌ترتیب عصاره بهارنارنج با مالتودکسترین، صمغ‌عربی و مخلوط مساوی این‌دو، به‌عنوان عامل کپسوله‌کننده، در نسبت ۱۰g)٪۱۰w/v ماده دیواره‌ای در ۹۰ml عصاره)، جداگانه مخلوط شدند. مخلوط مواد توسط هم‌زن مغناطیسی با سرعت ۳۰۰rpm به‌مدت ۲h در دمای ۲۵°C همگن شدند. سپس برای ۲۴h در یخچال با دمای ۴°C تا آب‌پوشانی کامل نگه‌داری شدند. نمونه‌های آماده شده با استفاده از دستگاه خشک‌کن‌پاششی مدل BUCHI B-290، با دمای ورودی (هوای خشک‌کننده) ۱۴۰°C و دمای خروجی ۸۸°C، توسط جریان هوای تحت فشار ۵/۷ بار، خشک گردیدند. ذرات جامد حاصله جمع‌آوری و در ظروف تیره تا انجام آزمایش‌های بعدی نگه‌داری شدند.

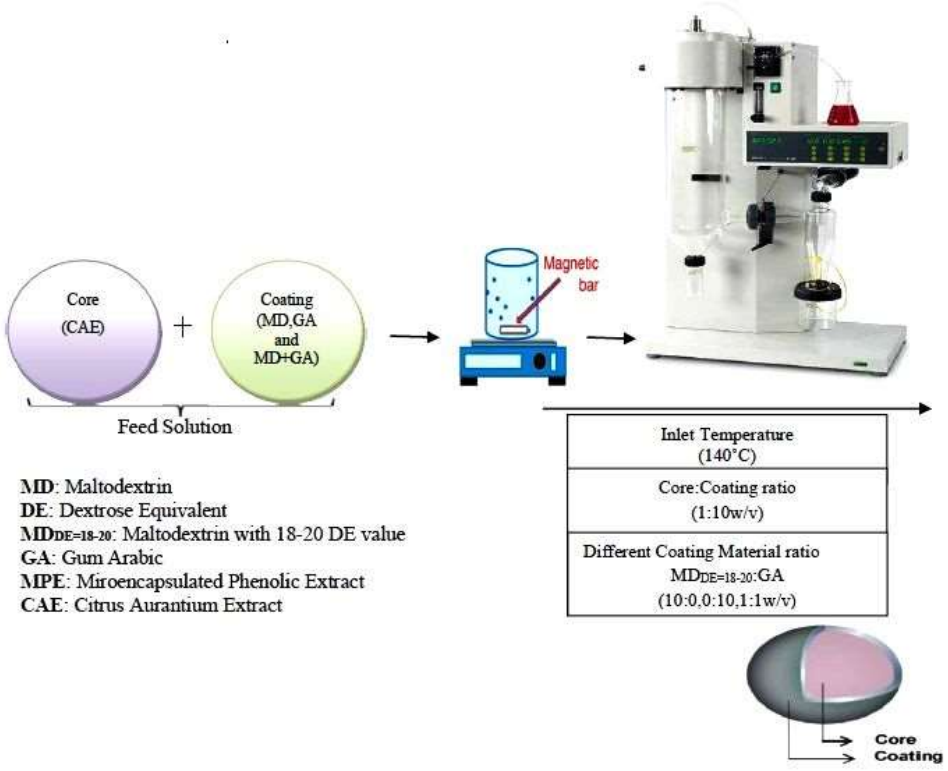
۳.۲. آزمون‌های پودر ریزپوشانی‌شده

۱.۳.۲. بازده تولید پودر

بازده تولید محصول طبق رابطه (۱) به‌صورت نسبت وزن پودر به‌دست‌آمده به جرم کل ماده جامد موجود در خوراک بر حسب ماده خشک محاسبه می‌گردد. در این مطالعه، پودر ریزکپسوله جمع‌آوری شده در شیشه انتهایی دستگاه به‌عنوان محصول اصلی جهت محاسبه بازده فرایند و انجام آزمون‌های پودر مورد استفاده قرار گرفت[۴].

(۱)

بازده تولید پودر٪ = (جرم محصول نهایی/ جرم کل ماده جامد خوراک)×۱۰۰



شکل(۱) ریزپوشانی ترکیبات فنولی عصاره بهارنارنج تحت شرایط مختلف تولید

Fig.1. Microencapsulation of phenolic compounds *Citrus aurantium* extract under different process conditions

www.SID.ir

Archive of SID

۲.۳.۲. تعیین میزان ترکیبات فنول کل(TPC)

مقدار ترکیبات فنولی کل موجود به‌منظور تعیین بازده ریزپو شانی از طریق روش رنگ سنجی با فولین سیوکالتیو مورد بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور منحنی استاندارد اسیدگالیک برحسب میلی‌گرم در دامنه غلظت ۴۰ تا ۴۰۰ppm ر سم گردید. سپس برای تعیین محتوای فنول، ۱g عصاره ریزپو شانی‌شده در ۱۰ml آب‌مقطر رقیق شد و ۱ml از محلول تهیه شده با ۲/۵ml معرف فولین‌سیوکالتیو مخلوط گردید. پس از گذشت ۲min، ۵ml کربنات‌سدیم (۷۵ g/l) به آن افزوده و جذب محلول حاصل پس از گذشت ۴۰min نگه‌داری در دمای اتاق توسط اسپکتروفتومتر، در طول موج ۷۶۵nm، خوانده شد. با قرار دادن نتایج حاصل در منحنی استاندارد، میزان فنول کل در عصاره آزاد بر مبنای میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم ماده‌خشک نمونه محاسبه شد. سپس میزان فنول عصاره ریزپوشانی‌شده اندازه‌گیری و مقایسه شد[۲۲]. بازده ریزپو شانی تو سط رابطه زیر محاسبه شد:

(۲)

بازده ریزپوشانی٪= (میزان فنول کل/ میزان فنول کپسوله‌شده)×۱۰۰

۳.۳.۲. تعیین خاصیت آنتی‌اکسیدانی(DPPH)

فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر از طریق توانایی از د ست دادن اتم هیدروژن توسط ترکیبات فنولی با میزان بی‌رنگ کردن محلول بنفش DPPH در اتانول مورد سنجش قرار گرفت. برای این منظور ۱g از پودرهای حاصل در ۱۰ml آب حل شده و به خوبی هم زده شد. سپس ۱۰۰µl از محلول تهیه شده با ۳/۹ml محلول اتانولی DPPH با غلظت ۲۵mgDPPH/L مخلوط و نمونه‌ها در د ستگاه سانتریفوژ با دور ۴۰۰۰rpm به مدت ۵ الی ۷ min سانتریفوژ شد. در نهایت جذب نمونه‌ها پس‌از قرار گرفتن به‌مدت ۳۰min در محل تاریک، در طول موج ۵۱۷nm با ا ستفاده از د ستگاه ا سپکتروفتومتر خوانده شد[۴، ۲۳]. در نهایت درصد مهار رادیکال‌آزاد DPPH با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$\%Inhibition=[(A_0-A_s)/A_0]\times100 \quad (۳)$$

که A_o جذب نمونه شاهد(بدون ترکیب موثر) و A_s جذب نمونه می‌باشد.

۴.۳.۲. مقدار رطوبت

مقدار رطوبت طبق روش گولا و آداموپولوس[۲۴] اندازه‌گیری شد. بدین‌ترتیب که ۲g پودر ریزکپسوله در پلیت‌هایی که از قبل با قرار دادن در آون به وزن ثابت رسیده و توزین شده‌اند، ریخته و سپس پلیت‌ها به‌مدت ۳h در آون ۱۰۵°C قرار داده شد. در نهایت از آون خارج و در دسیکاتور خنک و سپس وزن گردید. فرایند خشک‌شدن تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. مقدار رطوبت از طریق رابطه (۴) محاسبه گردید.

$$\%M=\frac{W_2-W_3}{W_2-W_1}\times100 \quad (۴)$$

که در این رابطه M درصد رطوبت، W_1 وزن ظرف خالی، W_2 مجموع وزن پودر و ظرف و W_3 مجموع وزن ظرف و پودر خشک‌شده بعداز قرار دادن در آون و رسیدن به وزن ثابت می‌باشد.

۵.۳.۲. اندازه‌گیری میزان جذب رطوبت

قابلیت جذب رطوبت پودرهای ریزپوشانی‌شده عصاره بهارنارنج به شکل مقدار رطوبت جذب شده بر حسی گرم آب جذب شده توسط ۱ گرم پودر، پس از ۷ روز نگه‌داری در دمای محیط ۳۰°C و رطوبت نسبی ۷۵٪ در یک دسیکاتور با محلول اشباع کلرید سدیم تعیین گردید[۲۵].

۶.۳.۲. دازه‌گیری چگالی‌توده‌ای

چگالی‌توده‌ای با افزودن تدریجی ۲g پودر ریزپوشانی‌شده عصاره بهارنارنج به استوانه مدرج ۱۰ml با درجه بندی ۰/۱ml و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، به صورت (g/ml) محاسبه گردید[۲۴].

۷.۳.۲. اندازه‌گیری شاخص انحلال‌پذیری

سنجش انحلال‌پذیری پودرهای ریزپوشانی‌شده عصاره بهارنارنج با استفاده از روش کانو و همکاران[۲۶]، با کمی اصلاحات انجام گرفت. ۱g پودر به‌دقت به ml ۱۰۰ آب‌مقطر تحت شرایط هم‌زدن با یک هم‌زن مغناطیسی در۷۰۰rpm به‌مدت ۴min اضافه گردید. محلول حاصل در ۳۰۰۰×g برای ۴min سانتریفوژ شد. حجم ۲۵ml از محلول فوقانی جدا و به یک پتری‌دیش که از قبل وزن گردیده منتقل و در آون ۱۰۵°C به‌مدت ۵h خشک گردید. وزن ماده جامد خشک‌شده نسبت به پودر اولیه بر حسب

www.SID.ir

Archive of SID

درصد جهت تعیین مقدار انحلال‌پذیری در آب به‌کار رفت.

۸.۳.۲. شکل و اندازه ذرات از طریق میکروسکوپ الکترونی (SEM)

ساختار پودرهای درون‌پوشانی‌شده عصاره بهارنارنج با استفاده از روش تورس و همکاران[۴] مورد بررسی قرارگرفت. نمونه‌ها به‌طور مجزا با استفاده از نوار چسب‌های دو سویه بر صفحه‌های آلومینیومی قرار گرفتند. سپس عمل روکش‌دهی ذرات با استفاده از لایه نازکی از طلا انجام شد. در نهایت هر نمونه پوشش‌دهی شده به میکروسکوپ منتقل و مشاهده ساختار سطحی ذرات صورت گرفت. اندازه ذرات با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی و توسط آنالیز با نرم‌افزار پروپالاس گرفته شد.

۴.۲. آنالیز آماری

برای مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و آنتی‌اکسیدانی پودرهای درون‌پوشانی‌شده عصاره بهارنارنج، از طرح کاملا تصادفی استفاده شد. آنالیز آماری داده‌ها با نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ و با روش تجزیه واریانس(ANOVA) در سطح احتمال ۹۵٪ ($p<۰/۰۵$) انجام شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد و رسم نمودار با نرم‌افزار Excel 2007 انجام گردید.

۳. نتایج وبحث

۱.۳. اثر نوع ماده دیواره‌ای بر درصد بازده تولید پودرهای ریزپوشانی‌شده

بازده تولید پودر یکی از اصلی‌ترین شاخص‌ها و بیان‌گر میزان اقتصادی بودن، کارآیی و هم چنین درصد موفقیت‌آمیز بودن فرایند است. عملکرد پودر تحت شرایط مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است. عملکرد فرایند، مطابق با بازیابی محصول است و به‌طور عمده توسط مجموع پودر به‌دست آمده تعیین می‌شود. نتایج بررسی درصد بازده تولید پودر نشان می‌دهد که در مقایسه بین مالتودکسترین، صمغ‌عربی و ترکیب آن‌ها، مالتودکسترین با غلظت ۱۰٪w/v با مقدار ۸۷/۴۰٪، بازده بالاتری نسبت به دیگر کپسول‌ها داشته است. این ممکن است به‌دلیل میزان خشک‌شدن بالاتر مالتودکسترین و تشکیل پوسته سریع باشد که منجر به نگه‌داری بیش‌تر پلی‌فنول‌ها نیز می‌شود[۲۷]. هم‌چنین مالتودکسترین سبب کاهش چسبندگی پودر شده که در نتیجه، تولید پودر در طول اسپری کردن افزایش می‌یابد. از دست دادن درصدی از مواد در یک سیستم خشک‌کن‌پاششی بیش‌تر به‌دلیل اتصال قطرات و پودر به دیواره دستگاه اسپری می‌باشد[۲۸]. به‌نظر می‌رسد صمغ‌عربی به‌دلیل گرانروی بالا و ایجاد چسبندگی، قطرات و پودر بیش‌تری را به دیواره محفظه خشک‌کن متصل کرده و سبب کاهش بازده تولید می‌شود. نتایج مشابهی توسط تورس و همکاران[۴] در بررسی تأثیر شرایط خشک‌کردن پاششی در تهیه ریزکپسول برگ‌بو، اکباس و همکاران[۲۹] در بررسی فرایند ریزپوشانی عصاره گندم و تولون و همکاران[۱۷] در بررسی ریزپوشانی عصاره انگور، به‌دست آمد.

۲.۳. تعیین میزان ترکیبات فنولی کل و بازده ریزپوشانی

مقادیر ترکیبات فنولی‌کل پودرها در جدول (۱) آمده است. مقدار فنول موجود در گرم نمونه خشک گیاه mg GAE/g dry sample ۴/۵۴±۰/۰۲ بود. همان‌طورکه در این جدول مشخص است، مقدار فنول عصاره کپسوله‌شده نسبت به فنول نمونه خشک گیاه بدون ریزپوشانی، کاهش جزئی داشت. زیرا بخش عمده‌ای از ساختار پودرهای خشک شده را ماده حامل غیرفنولی مورد استفاده تشکیل می‌دهد. پودرهای حاصل از مالتودکسترین، بالاترین مقدار فنول را دارا بودند. اما با استفاده از صمغ‌عربی از مقدار فنول پودرها کاسته شد. بسته به نوع ساختار کپسول تولید

جدول(۱) درصد بازده کل تولید، خاصیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول کل و بازده ریزپوشانی عصاره بهارنارنج ریزپوشانی‌شده.

Table 1 Powder production yield, Antioxidant activity, Total phenolic content and Encapsulation efficiency of the microcapsules *Citrus aurantium* extract.

Microcapsule	Powder production yield (%)	Antioxidant activity (%)	Total phenolic content (mg GAE/g)	Encapsulation efficiency (%)
Free Extract	-	68.30±2.3[a]	-	-
Maltodextrin	87.4± 0.06[a*]	60.91±2.3[b]	4.38±0.01[a]	96.62±0.3[a]
Maltodextrin+Arabic Gum	49.96 ±0.6[b]	53.66±1.5[c]	4.29±0.01[b]	94.49± 0.7[b]
Arabic Gum	42.28 ±0.1[c]	46.26±1.7[d]	4.19±0.01[c]	92.36±0.8[c]

* Different letters in the same column indicate statistical significance ($p < 0.05$)

www.SID.ir

Archive of SID

شده توسط حامل و کارآیی ریزپوشانی آن، برخی از پلی‌فنول‌های موجود در پودر ممکن است در اثر حرارت تخریب شده و در نتیجه مقداری از آن‌ها از بین بروند[۲۷]. در مطالعه کریمی و همکاران[۳۰]، مشاهده شد که در هر گرم عصاره بهارنارنج، به‌طور متوسط مقدار ۰/۰۵±۴/۵۵ میلی‌گرم ترکیبات فنولی بر مبنای اسیدگالیک وجود دارد و هم‌چنین با نتایج تورس و همکاران[۴] در خصوص ریزپوشانی برگ‌بو هم‌خوانی داشت. در مطالعات کالیسکان و دیریم[۳۱]، تولون و همکاران[۱۷] و موسر و همکاران[۳۲]، مشاهده شد که افزایش هرچه بیش‌تر مواد دیواره‌ای به‌دلیل افزایش جرم حامل غیرفنولی، سبب کاهش کل ترکیبات فنولی در محصول نهایی گردید. هم‌چنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که شرایط خشک‌کردن و دمای ورودی و خروجی نیز سبب تفاوت در مقدار ترکیبات فنولی شد. بازده ریزپوشانی به ماهیت ماده‌فعال و تمایل آن به برهم‌کنش با ماده دیواره‌ای کپسول، نسبت پلی‌مر به ماده‌فعال، روش تولید ریزکپسول و هم‌چنین غلظت و نوع ماده دیواره‌ای بستگی دارد. در این پژوهش، جهت ارزیابی بازده ریزپوشانی ترکیبات فنولی، میزان فنول‌کل برحسب میلی‌گرم اسیدگالیک بر گرم ماده‌خشک نمونه، قبل و بعد از ریزپوشانی اندازه‌گیری شد. جدول (۱) نشان‌گر بازده ریزپوشانی است. کاهش اندک در میزان پلی‌فنول‌های پودر و در نتیجه کاهش بازده ریزپوشانی می‌تواند در نتیجه تخریب ترکیبات حساس به حرارت موجود در عصاره طی فرایند خشک‌کردن، غلظت ماده دیواره‌ای و نوع آن رخ دهد.

۳.۳. اثر نوع ماده دیواره‌ای بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای ریزپوشانی‌شده

فعالیت احیا رادیکال‌آزاد DPPH یک ماده، عاملی مهم برای مهار رادیکال‌های‌آزاد در غذاها و سیستم‌های زیست‌شناسی است، که نشان‌دهنده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی است[۳۱]. در این پژوهش، درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره آبی بهارنارنج و ریزکپسول حاوی آن بررسی شد که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است. وجود ترکیبات فنولی در بهارنارنج، خواص آنتی‌اکسیدانی را در یک ماده طبیعی ایجاد می‌کند که باعث افزایش توانایی مهار فعالیت‌های رادیکال‌آزاد می‌شود. مقدار درصد بازدارندگی عصاره آزاد بهارنارنج ۲/۳±۶۸/۳۰٪ بود. این مقدار با نتایج سارو و همکاران[۲]، که ترکیبات فرار موجود در اسانس گل نارنج‌های یونانی را از نظر فعالیت آنتی‌رادیکالی با انجام آزمون DPPH، ۵۳/۹۸٪ به‌دست آوردند، کمی متفاوت بود که علت آن علاوه‌بر زمان و مکان برداشت محصول، می‌تواند استخراج و حلال مورد استفاده در استخراج عصاره باشد. مقایسه نتیجه به‌دست‌آمده از خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره بهارنارنج با نتایج سایر محققین [۲، ۱۳]، نمایان‌گر آن است که گل‌نارنج مورد استفاده فعالیت آنتی‌رادیکالی بسیار مناسبی داشته است. از طرفی خاصیت آنتی‌اکسیدانی در مورد ریزکپسول‌های حاوی عصاره، اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین میزان درصد بازدارندگی رادیکال-های‌آزاد DPPH مربوط به کپسول با دیواره ۱۰٪w/v مالتودکسترین به مقدار ۲/۳±۶۰/۹۱ ٪ بود. در میزان خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره کپسوله با آزاد تفاوت معنی‌داری وجود داشت. از آن‌جایی‌که فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور مستقیم با پلی‌فنول‌ها تناسب دارد، محتوای آنتی‌اکسیدانی عصاره آزاد بیش‌تر بود. شرایط تولید کپسول نیز می‌تواند محتوای پلی‌فنولی و فعالیت آن را تحت تأثیر قرار دهد. در روش خشک‌کردن پاششی مقدار اندکی از ترکیبات فنولی در اثر حرارت تخریب می‌شوند و از بین می‌روند، بنابراین مقداری از خاصیت آنتی‌اکسیدانی نیز از بین می‌رود. علاوه‌بر روش ریزپوشانی، بازده ریزپوشانی مواد دیواره‌ای نیز می‌تواند محتوای خالص پلی‌فنول‌ها را تحت تأثیر قرار دهد که به نوبه خود بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی اثر می‌گذارد. کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در پودر ریزپوشانی شده با صمغ‌عربی نیز به‌دلیل کارایی پایین‌تر ریزپوشانی بود. در پژوهش پاسریجا و همکاران[۲۷]، نیز نتایج مشابهی به‌دست آمده بود. زو و همکاران[۳۳]، در مطالعه خود با هدف افزایش پایداری روغن‌گردو توسط ریزپوشانی با استفاده از ایزوله پروتئین‌سویا و مالتودکسترین به‌عنوان مواد دیواره‌ای به این نتیجه رسیدند که ریزپوشانی روغن‌گردو اثر محافظتی آنتی‌اکسیدان را برجسته و پایداری را افزایش داد. در مقابل سیمون‌براون و همکاران[۳۴]، در بررسی اثر ریزکپسوله سازی عصاره زنجبیل با استفاده از مالتودکسترین و صمغ‌عربی به‌عنوان عوامل کپسوله‌ساز، بر روی ۶ ژن مؤثر زنجبیل، به این نتیجه رسیدند که ریزپوشانی باعث کاهش مقدار ترکیب مؤثر زنجبیل یعنی جینجرول و به‌دنبال آن کاهش محتوای فنول و آنتی‌اکسیدانی گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

۴.۳. اثر نوع ماده دیواره‌ای بر رطوبت پودرهای ریز-کپسوله‌شده

میزان رطوبت، مقدار آب در سیستم غذایی را نشان می‌دهد. محتوای رطوبت از آن‌جایی‌که نشان‌دهنده بازده خشک‌شدن است یکی از ویژگی‌های مهم پودر است و عمرمفید و چسبندگی پودر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌طور کلی، محصولات خشک‌شده با محتوای رطوبت بین ۳ تا ۱۰ درصد، ثبات ذخیره‌سازی خوبی را نشان می‌دهند[۲۸]. پایین بودن محتوای رطوبتی پودر منجر به جلوگیری از تخریب ترکیبات فعال ریزپوشانی شده در ساختار پودر می‌گردد. هم‌چنین ویژگی رطوبت، برخی از خصوصیات پودر نظیر چگالی‌توده‌ای وحلالیت را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۲) مشخص است، نوع ماده دیواره‌ای، مقدار رطوبت نهایی پودرهای تولیدی را تحت تأثیر قرار داده است. بررسی نتایج نشان داد که رطوبت در نمونه‌هایی که صمغ‌عربی به‌کاررفته، بالاتر است، زیرا صمغ‌عربی مرکب از چند جزء هتروپلی‌ساکاریدی با ساختاری منشعب بوده که دارای گروه‌های آب‌دوست می‌باشد و در نتیجه با مولکول‌های آب پیوند داده و مانع خروج آن‌ها می‌شود. بانداری و همکاران [۳۵]، رابطه مستقیم بین افزایش گرانروی مخلوط و در نتیجه افزایش رطوبت پودر خشک‌شده را گزارش دادند. گرابوسکی و همکاران[۳۶]، نشان دادند که مالتودکسترین با DE=۲۵ نسبت به صمغ‌عربی تأثیر بیش‌تری بر کاهش محتوای رطوبت می‌گذارد که دلیل آن تفاوت بین ساختار شیمیایی بین دو حامل می‌باشد. علاوه‌براین، MD با DE بالا(۲۰-۱۸) دارای دمای انتقال شیشه‌ای بالا با گرانروی پایین‌تر است که مقاومت کم‌تری را برای انتقال جرم فراهم می‌کند و سبب افزایش میزان خشک‌شدن می‌شود [۳۷]. در تحقیقاتی که توسط گروه دیگری صورت گرفت، به این نتیجه رسیدند که افزایش غلظت مالتودکسترین با افزایش ماده جامد در محلول خوراک همراه است و به‌دلیل افزایش آب آزاد و در دسترس جهت تبخیر، ممکن است منجر به کاهش رطوبت کل محصول نهایی گردد[۳۸، ۳۹].

۵.۳. اثر نوع ماده دیواره‌ای بر میزان جذب رطوبت پودرهای ریزپوشانی‌شده

شکل (۲)، نشان‌دهنده تغییر در ماهیت پودرهای عصاره بهارنارنج، پس از مدت زمان نگه‌داری می‌باشد. علت تغییر رنگ و ماهیت پودرهای عصاره بهارنارنج در شکل (۲)، قابلیت جذب رطوبت و بروز پدیده‌ای به نام تمایل به ذوب یا مایع شدن است که ویژگی‌ها و پایداری فیزیکی و شیمیایی پودرهای غذایی را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این حالت، جذب رطوبت در سطح ذرات از طریق پیوندهای هیدروژنی صورت می‌گیرد. این پدیده وابسته به دما و رطوبت‌نسبی محیط بوده و طی آن، انواع پودرهای غذایی جاذبه‌الرطوبه (نظیر نمک‌ها و قندها) از حالت جامد به شکل مایع تبدیل می‌شوند. عموماً تغییر در جریان‌پذیری پودرهای مختلف طی شرایط نگه‌داری، وابسته به ماهیت ماده اولیه (ترکیبات تشکیل‌دهنده نظیر قندها، میزان چسبندگی و جاذبه‌الرطوبه بودن) می‌باشد[۴۰]. در این تحقیق، با ادامه فرایند جذب رطوبت، به نوعی فرایند بازسازی پودرها رخ داد. پس‌از مدت زمان نگه‌داری و با توجه به قابلیت جذب رطوبت پودرها، با افزایش مقدار رطوبت جذب شده، به تدریج از جریان‌پذیری پودرهای عصاره بهارنارنج کاسته شد. به‌دلیل افزایش چسبندگی بین ذرات، در نهایت جریان‌پذیری پودرها پس از ۷ روز نگه‌داری در شرایط تعیین شده، به‌طور کامل متوقف گردید. بر اساس اطلاعات جدول (۲)، میزان جذب رطوبت ریزکپسول صمغ‌عربی و ترکیبی، بیش‌تر از مالتودکسترین بود که دلیل آن را می‌توان به قابلیت بیش‌تر حفظ و جذب رطوبت صمغ‌عربی نسبت به مشتقات کربوهیدرات بیان کرد. ویدوویچ و همکاران [۴۱]، اثر غلظت‌های مختلف ۱۰، ۳۰ و ۵۰٪ مالتودکسترین بر خواص فیزیکی‌شیمیایی و میزان جذب رطوبت پودر عصاره چای کوهی را بررسی کردند. پس از یک هفته، جذب رطوبت در نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۵۰٪ مالتودکسترین به‌ترتیب ۲۰/۰۶ و ۱۳/۶۴٪ بود که حاکی از اثر قابل ملاحظه کاهش این شاخص در نتیجه افزایش غلظت مالتودکسترین داشت.

جدول(۲) اثر مواد دیواره‌ای بر رطوبت، میزان جذب رطوبت، چگالی‌توده‌ای، حلالیت و اندازه‌ذرات بهارنارنج ریزپوشانی شده.

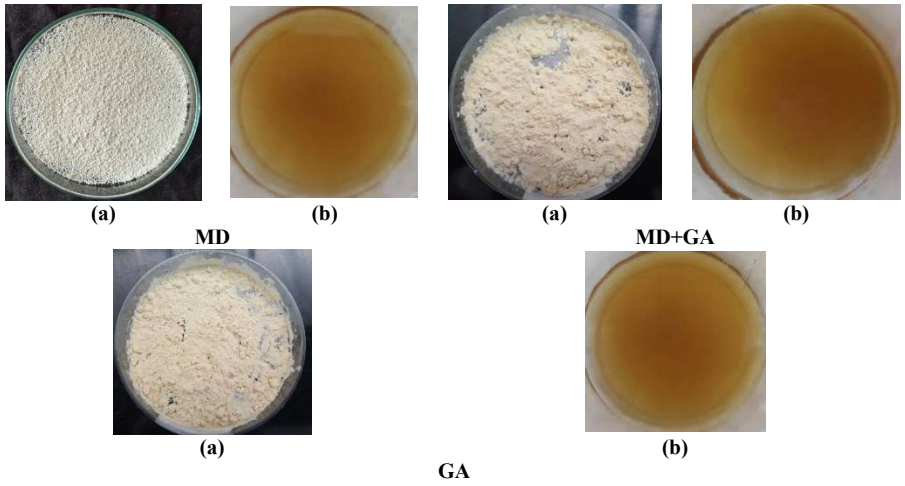
Table 2 Effect coating materials of the Moisture,Hygroscopicity,Bulk density,Solubility,Particle size of microcapsules *Citrus aurantium* extract.

Microcapsule	Moisture (%)	Hygroscopicity (%)	Bulk density (g/ml)	Solubility (%)	Average Particle size (µm)
Maltodextrin	2.10±0.07^{c*}	45.76±1.3^{c}	0.449±0.007^{b}	79.38±0.2^{a}	5.64^{a}
Maltodextrin+Arabic Gum	2.85±0.1^{b}	56.28±0.4^{b}	0.471±0.007^{b}	71.08±0.3^{b}	5.48^{a}
Arabic Gum	3.45±0.1^{a}	65.74±0.5^{a}	0.506±0.008^{a}	61.66±0.08^{c}	5.13^{a}

* Different letters in the same column indicate statistical significance ($p < 0.05$)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲) تأثیر قابلیت جذب رطوبت پودرهای عصاره بهارنارنج طی نگه‌داری برتغییر ماهیت، خواص فیزیکی و جریان‌پذیری. a)پودر عصاره بهارنارنج در روز اول نگه‌داری b) پودر عصاره بهارنارنج در روز هفتم نگه‌داری

Fig. 2. Effect of hygroscopicity of *Citrus aurantium* extract powders on change of nature, physical properties and flowability during storage. a) *Citrus aurantium* powder on the first day of storage; b) *Citrus aurantium* powder on the seventh day of storage

۶.۳. اثر نوع ماده دیواره‌ای بر چگالی‌توده‌ای پودرهای ریزپوشانی‌شده

مقادیر چگالی‌توده‌ای در جدول (۲) آمده است. مقایسه میانگین چگالی‌توده‌ای نمونه‌ها نشان داد که نمونه صمغ‌عربی دارای بیش‌ترین چگالی و مالتودکسترین دارای کم‌ترین چگالی است. دلایل اقتصادی و کاربردی موجب افزایش اهمیت چگالی به‌عنوان یک ویژگی فیزیکی گردیده است. آگاهی از چگالی‌توده‌ای، یک عامل مهم برای فرایندهای حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی و بسته‌بندی است. چگالی‌توده‌ای یکی از خصوصیات مواد غذایی بوده که به اندازه، رطوبت، شکل، ویژگی‌های سطحی و ذرات پودر بستگی دارد به‌طوری‌که پودرهای صاف، یک‌نواخت و ریزتر، چگالی حجمی بیش‌تری دارند[۳۱]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، چگالی‌توده‌ای در پودرهایی که حاوی نسبت بیش‌تری صمغ‌عربی بودند، در مقایسه با نمونه پودرهای حاوی مالتودکسترین، بیش‌تر بود. با توجه به بالا بودن وزن مولکولی صمغ‌عربی، که یک هتروپلی‌ساکارید بسیار بلند زنجیر با شاخه‌های جانبی فراوان و دارای یک بخش پروتئینی است، نسبت به مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰-۱۸، و کاهش حجم پودر حاوی صمغ‌عربی، افزایش چگالی در این تیمارها قابل توجیه است. هم‌چنین در صمغ‌عربی به‌علت رطوبت بالاتر، ذرات سنگین‌تر شده و چگالی‌توده‌ای افزایش یافته است که برعکس آن در مورد کاهش چگالی مالتودکسترین صدق می‌کند. گولا و همکارش[۲۴] نیز نشان دادند که بیش‌تر بودن چگالی حجمی را می‌توان به‌وسیله بیش‌تر بودن وزن مولکولی پلی‌مر دیواره تعریف کرد. مواد سنگین‌تر به‌آسانی بین فضای ذرات جا می‌گیرند بنابراین با فضای کم‌تری باعث بیش‌تر شدن توده حجمی می‌شوند. سانتیاگوآدام و همکاران[۴۲]، مقادیر چگالی پودر ریزکپسوله دارچین با مالتودکسترین را که بین ۰/۵۳۶ تا ۰/۵۵۴g/cm^3 متغیر بود، گزارش کردند. مهدوی و همکاران [۴۳]، نشان دادند که اندازه ذرات و خواص جریان‌پذیری ممکن است تحت تأثیر چگالی پودر تولیدی قرار گیرد.

۷.۳. اثر نوع ماده دیواره‌ای بر میزان حلالیت پودرهای ریزپوشانی‌شده

نتایج ارائه شده در جدول (۲) حاکی از آن است که حلالیت پلی‌مر مالتودکسترین بالاتر از صمغ‌عربی است. به‌نظر می‌رسد انحلال‌پذیری بیش‌تر مالتودکسترین به‌دلیل حلالیت بالاتر و سریع‌تر آن در آب و گرانروی و چسبندگی پایین‌تر آن است. هم‌چنین انحلال‌پذیری پودرها می‌تواند بسته به نوع و ترکیب ماده‌ی اولیه، شرایط خشک‌کردن، نوع و حلالیت ماده‌ی حامل و میزان تعامل بین حامل و عصاره باشد که احتمالاً تحت تأثیر عواملی مانند آب‌گریزی پلی‌مر، انعطاف‌پذیری پلی‌مر و غلظت آن

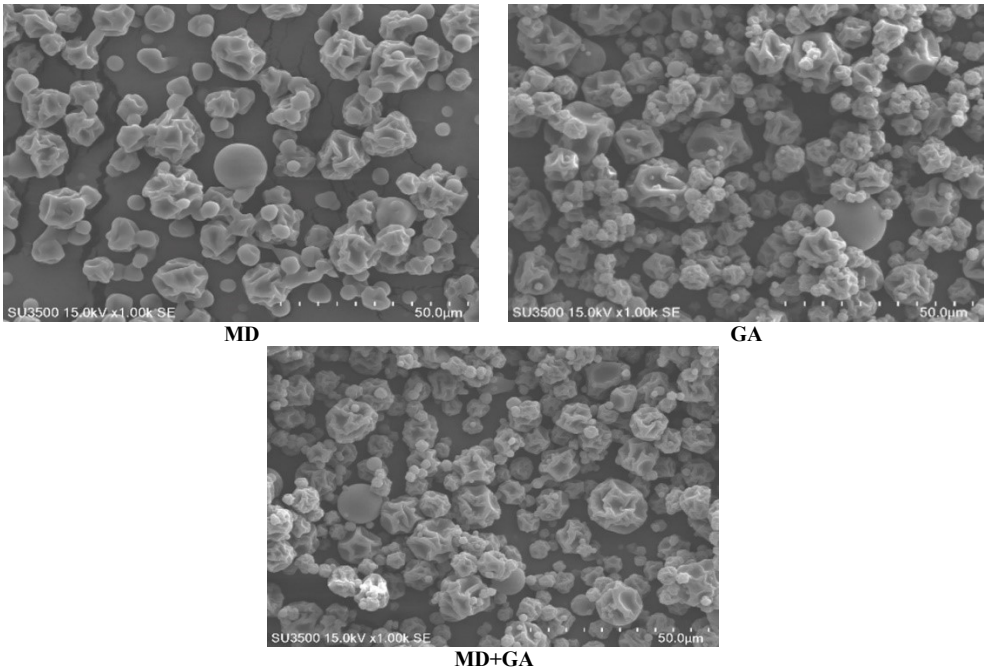
www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد[۴۴]. خشک‌کردن پاششی با کاهش رطوبت پودرها، ممکن است عامل دیگری برای دست‌یابی به حلالیت بالا باشد. در تحقیق صورت گرفته توسط جیناپونگ و همکاران [۴۵]، تأثیر رطوبت، اندازه ذرات پودرها و قطر قطرات تولید شده توسط اتمایزر بر انحلال‌پذیری بررسی گردید. نتایج حاکی از این بود که پودرهایی با رطوبت کم‌تر با سهولت بیش‌تری در آب حل می‌گردند، هم‌چنین ذرات درشت در آب ته‌نشین می‌شوند درحالی‌که ذرات ریز به صورت گرد بوده و به‌طور معمول روی آب شناور می‌مانند. از سوی دیگر، کوئک و همکاران [۴۶] و کانو و همکاران [۲۶] به ترتیب اثر کاهش حلالیت پودرهای آب هندوانه و انبه را تحت تأثیر افزایش دما و غلظت مالتودکسترین مشاهده کردند. آبادیو و همکاران [۴۷] نیز گزارش دادند که کاهش غلظت باعث کاهش حلالیت در ریزپوشانی آب آناناس گردیده است.

۸.۳. اثر نوع ماده دیواره‌ای بر ساختار و اندازه ذرات پودرهای ریزپوشانی‌شده

ساختار شکل (۳)، اثر هر یک از حامل‌های مالتودکسترین و صمغ‌عربی و ترکیب آن‌ها بر ساختار سطحی پودر حاوی عصاره بهارنارنج خشک‌شده به‌روش پاششی را نشان می‌دهد که می‌توان با اندازه ذرات نیز توضیح داد. ذرات به‌طورکلی دارای اندازه‌های مختلف و شکل ناهموار بودند. هنگامی‌که از مالتودکسترین به‌عنوان ماده پوششی استفاده شد، ریزکپسول‌ها به‌طور معمول ساختارهای یک‌نواخت و سطوح صاف به نسبت بیش‌تری داشتند. درحالی‌که هنگام استفاده از صمغ‌عربی اشکال نامنظم با چروکیدگی بیش‌تر، مشاهده شد. این چروکیدگی، سبب ریزش بیش‌تر ذرات و چگالی بیش‌تر شد. اگرچه تولید ذرات با سطوح چروکیده و نامنظم، یک پدیده معمول در خشک‌کردن‌پاششی محصولات مختلف است که بیش‌تر به‌دلیل تشکیل سریع پوسته بر سطح قطرات در مراحل اولیه خشک‌کردن رخ می‌دهد. هم‌چنین بی‌نظمی شکل می‌تواند به‌دلیل سرعت تبخیر آب در طول فرایند اسپری کردن نیز باشد. شکل کروی و اندازه‌های مختلف بدون ترک و یا شکاف ظاهری، نشان‌دهنده پوشش کامل هسته توسط حامل است، که در نتیجه سبب افزایش حفاظت مواد فعال آن می‌شود. خصوصیات شکل مشابهی توسط سانتانا و همکاران[۲۸] یافت شد که ریزپوشانی پالپ میوه جوسارا را انجام داده بودند. پانگ و همکاران[۴۸]، اعلام کردند که افزایش در غلظت MD منجر به تولید ذرات با سطح نرم‌تر و منظم‌تر می‌شود. آلامیلا و همکاران[۴۹]، به این نتیجه رسیدند که دمای هوای



شکل(۳) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM)پودرهای ریزپوشانی شده عصاره بهارنارنج با خشک‌کن پاششی و مواد دیواره‌ای گوناگون

Fig. 3. Scanning electron microscope (SEM) images of the microencapsulated powders of *Citrus aurantium* extract with spray dryer and various wall materials

www.SID.ir

Archive of SID

ورودی پایین‌تر منجر به تشکیل ذرات با شکل نامنظم می‌شود، درحالی‌که دمای هوای بالاتر ذرات سخت با سطوح متخلخل تولید می‌کند. توزیع اندازه ذرات ریزکپسول‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. اندازه ذرات در خصوص دیواره مالتودکسترین بین ۲/۴۱ تا ۱۵/۸ µm قرار داشت. در دیواره صمغ‌عربی اندازه ذرات بین ۱/۵۲ تا ۱۲/۴ µm بود و در دیواره ترکیب مالتودکسترین و صمغ‌عربی بین ۱/۹۵ تا ۱۳/۱µm قرار داشت. درخصوص میانگین اندازه ذرات همان‌طورکه در جدول (۲) آمده است، اختلاف معنی-داری بین اندازه ذرات مشاهده نشد، که دلیل آن را کاربرد مالتودکسترین با DE بالا و گرانروی بالاتر صمغ‌عربی، می‌توان توضیح داد. پاسریجا و همکاران[۲۷] و تورس و همکاران[۴]، به‌ترتیب به نتایجی مشابه در خصوص اندازه ذرات کپسول چای‌سبز با مالتودکسترین و کپسول برگ‌بو، به‌علت اتمیزاسیون مایع به قطرات در طول خشک‌شدن، دست یافتند. رناتا و همکاران[۵۰]، نشان دادند که ذرات ریزپوشانی شده با صمغ‌عربی قطر کم‌تری نسبت به نشاسته تاپیوکا و مالتودکسترین داشت. هم‌چنین مالتودکسترین با DE بالاتر ذرات ریزتری را تولید کرد که دلیل آن را بالاتر بودن درجه هیدرولیز و کوتاه‌تر بودن زنجیر بیان کردند. والتون[۵۱]، دست یافت که افزایش سرعت جریان هوای فشرده باعث کاهش اندازه ذرات می‌گردد که خود باعث افزایش سرعت خشک‌شدن و کاهش محتوای رطوبت می‌شود.

۴-نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر مواد دیواره‌ای مالتودکسترین، صمغ‌عربی و ترکیب این دو بر پودرهای ریزپوشانی شده توسط خشک‌کردن پاششی در چند آزمون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مـواد دیواره‌ای مورد استفاده اثر معنی‌داری بر روی بـازده تولید، محتوای ترکیبات فنولی کل و بازده ریزپوشانی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، رطوبت، قابلیت جذب رطوبت، چگالی‌توده‌ای، حلالیت، شکل و اندازه ذرات گذاشت. نتایج این تحقیق به وضوح نشان داد که محصورسازی عصاره بهارنارنج توسط خشک‌کن پاششی با استفاده از مالتودکسترین مؤثر بوده و بهره‌وری بالاتر از ۹۰٪ نسبت به دو ماده دیواره‌ای دیگر داشت. هم‌چنین کپسول مالتودکسترین بازده تولید پودر بالاتر برابر۸۷/۴۰٪، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بهتر در حدود ۶۰/۹۱٪، رطوبت پایین برابر ۲/۱۰٪، جذب رطوبت پایین برابر ۴۵/۷۶٪، چگالی‌توده‌ای پایین برابر ۰/۴۴۹g/ml، حلالیت بالا در حدود ۷۹/۳۸٪ داشت. از بررسی شکل و اندازه ذرات کپسول‌های خشک‌شده با خشک‌کن‌پاششی نیز می‌توان نتیجه گرفت که این فرایند کپسول‌هایی با تفکیک‌پذیری مناسب، حاوی ذرات ریزتر و توزیع اندازه ذره‌ای بهتر، ظاهر، بافت، مشخصه ریزش‌پذیری، تراکم‌پذیری، چگالی‌توده‌ای، قابلیت‌پراکندگی و محلولیت بسیار مطلوبی تولید می‌کند، که باعث حفظ ثبات ترکیبات پلی‌فنولی می‌شود. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که پودر ریزکپسوله حاوی آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند پلی‌فنول‌ها می‌توانند به جای آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی که ممکن است اثرات مضر روی سلامت انسان داشته باشند، استفاده شوند. ریزکپسول‌های دارای پلی‌فنول تولید شده با استفاده از شرایط مطلوب، توان بالقوه برای اضافه شدن به مواد تشکیل‌دهنده طیف وسیعی از مواد غذایی عملکردی و هم‌چنین بهبود ثبات ذخیره‌سازی آن‌ها که در صنایع‌غذایی و بخش سلامت بسیار تأثیرگذار است را دارند.

منابع

[1] Park, K., Park, H., Kim, M., Hong, G., Nagappan, A., Lee, H., Yumnam, S., Lee, W., Won, Ch., Shin, S., Kim, G. (2014). Flavonoids identified from Korean *Citrus aurantium L.* inhibit Non Small Cell Lung Cancer growth in vivo and in vitro. *J. Funct. Foods.*, 7, 287-297.

[2] Sarrou, E., Chatzopoulou, P., Dimassi-Theriou, K., Therios, L. (2013). Volatile Constituents and Antioxidant Activity of Peel, Flowers and Leaf Oils of *Citrus aurantium L.* Growing in Greece. *Molecules.*, 18,10639-10647.

[3] Ben Hsouna, A., Hamdi, N., Ben Halima, N., Abdelkafi, S. (2013). Characterization of essential oil from *Citrus aurantium* L. flowers: antimicrobial and antioxidant activities. *J. Oleo Sci.*, 62, 763-772.

[4] Torres, M., Santiago-Adame, R., Calderas, F., Gallegos-Infante, J.A., González-Laredo, R.F., Rocha-Guzmán, N.E., Nú˜nez-Ramíreze, D.M., Bernad-Bernada, M.J., ManerobaFacultad, O. (2016). Microencapsulation by spray drying of laurel infusions(*Litsea glaucescens*) with maltodextrin. *Ind*

www.SID.ir

Archive of SID

design of experiments issue. *Rev. Bras. Farmacog.*, 27, 236-244.
[17] Tolun, A., Altintas, Z., Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *J. Biotechnol.*, 239, 23-33.
[18] Boonchu, T., Utama, N. (2015). Optimization of extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red grape (*Vitis vinifera* L.). *J. Food Sci. Technol.*, 52, 783-792
[19] Ferrari, C.C., Germer, S.P.M., Alvim, I.D., Aguirre, J.M. (2013). Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. *Dry. Technol.*, 31, 470-478.
[20] Fathi, M., Mart, A., Clements, D.J. (2014). Nanoencapsulation of food ingredients using carbohydrate based delivery systems. *Trends in Food Sci. Technol.*, 39, 18-39.
[21] 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.
[22] Capannesi, C., Palchetti, I., Mascini, M., Parenti, A. (2000). Electrochemical sensor and biosensor for polyphenols detection in olive oils. *Food Chem.*, 71, 553-562.
[23] 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.*, 28, 25-30.
[24] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: Drying kinetics and product recovery. *Dry. Technol.*, 26,714-725.
[25] Santhalakshmy, S., Bosco, S.J.D., Francis, S., Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technol.*, 274,37-43.
[26] Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M., Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Inno. Food Sci. Emerg. Technol.*, 6, 420-428.
[27] Pasrija, D., Ezhilarasi, P.N., Indrani, D., Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT - Food Sci. Technol.*, 64, 289-296.
[28] Santana, A., Cano-Higuita, D., De Oliveira, R., Telis, V. (2016). Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. *Food Chem.*, 212, 1-9.
[29] Akbas, E., Kilercioglu, M., Onder, O., Koker, A., Soyler, B., Oztop, M. (2017). Wheatgrass juice to wheat grass powder: Encapsulation, physical and chemical characterization. *J. Funct. Foods.*, 28,19-27.
[30] Karimi, E., Oskoueian, E., Hendra, R., Oskoueian, *Crops Prod.*, 90, 1-8.
[5] Hong Wang, Q., Peng Shu, Z., Qing Xu, B., Xing, N., Juan Jiao, W., You Yang, B., Xue Kuang, H. (2014). Structural characterization and antioxidant activities of polysaccharides from *Citrus aurantium L. Int. J. Biol. Macromol.*, 67,112-123.
[6] Lu, Q., Yang, L., Zhao, H., Jiang, J., Xu, X. (2013). Protective effect of compounds from the flowers of *Citrus aurantium L.* var. amara Engl against carbon tetrachloride-induced hepatocyte injury. *Food Chem. Toxicol.*, 62,432-435.
[7] Dordevic, V., Belscak Cvitanovic, A., Drvenica, I., Komes, D., Nedovic, V., Bugarski, B. (2017). Nanoscale nutrient delivery systems. In*: Grumezescu, A. Nutrient Delivery*. Elsevier, Chapter 3, pp 87-139.
[8] Laokuldilok, N., Thakeow, P., Kopermsub, P., Utama-ang, N. (2016). Optimization of microencapsulation of turmeric extract for masking flavor. *Food Chem.*, 194, 695-704.
[9] Pandit, J., Aqil, M., Sultana, Y. (2016). Nanoencapsulation technology to control release and enhance bioactivity of essential oils. In: Grumezescu, A. *Encapsulations*, Elsevier, Chapter 14, pp 597-640.
[10] Ezhilarasi, P.N., Indrani, D., Jena, B.S., Anandharamakrishnan, C. (2013). Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. *J. Food Eng.*, 117, 513-520.
[11] Paramera, E.I., Konteles, S.J., Karathanos, V.T. (2011). Microencapsulation of curcumin in cells of *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Chem.*, 125, 892-902.
[12] Ersus, S., Yurdagel, U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of blackcarrot (*Daucus carot*a L.) by spray drier. *J. Food Eng.*, 80, 805-812.
[۱۳] هاشمی، م.؛ صفری، ج.؛ صادقی، ب.؛ غفوری، م. (۱۳۹۶) بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره بهارنارنج در مقایسه با TBHQ در روغن ذرت تیمار شده با اشعه فرابنفش. *علوم و صنایع غذایی*، شماره ۶۵، دوره ۱۴، ص ۱۰۴-۹۷.
[۱۴] کورشیان، م.؛ شریفی، الف.؛ مهدیان، الف.؛ بلوریان، ش. (۱۳۹۴) بررسی خصوصیات فیزیکی ریزکپسول‌های عصاره تمشک سیاه وحشی تهیه شده با روش خشک‌کن‌پاششی. *نشریه‌ی نوآوری در علوم و فناوری غذایی*، سال ۷، شماره ۴، ص ۸۵-۹۴.
[15] Rajabi, H., Ghorbani, M., Jafari, S., Sadeghi Mahoonak, A., Rajabzadeh, Gh. (2015). Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food Hydrocoll.*, 51,327-337.
[16] Chaul, L., Conceicão, C., Baraa, M.T., Paulaa, J., Couto, R. (2017). Engineering spray-dried rosemary extracts with improved physicomechanical properties: a

www.SID.ir

Archive of SID

[42] Santiago-Adame, R., Medina-Torres, L., Gallegos-Infante, J.A., Calderas, F., Gonz_alez-Laredo, R.F., Rocha-Guzman, N.E., Ochoa-Martínez, L.A., Bernad-Bernad, M.J. (2015). Spray drying microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. *LWT - Food Sci. Technol.*, 64, 571-577.
[43] Mahdavee Khazaei, K., Jafari, S.M., Ghorbani, M., Hemmati Kakhki, A. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydr. Polym.*, 105,57-62.
[44] Pai, D., Vangala, V., Wei Ng, J., Kiong Ng, W., Tan, R. (2015). Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization. *J. Food Eng.*, 161, 68-74.
[45] Jinapong N, Suphantharika M,, Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *J. Food Eng.,* 84,194-205.
[46] Quek, S.Y., Chok, N.K., Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chem. Eng. Process.*, 46, 386-392.
[47] Abadio, F., Domingues, A.M., Borges, S.V., Oliveira, V.M. (2004). Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice effect of maltodextrin concentration and atomization speed. *J. Food Eng.*, 64,285-287.
[48] Pang, S.F., Yusoff, M.M., Gimbun, J. (2014). Assessment of phenolic compounds stability and retention during spray drying of *Orthosiphon stamineus* extracts. *Food Hydrocoll.*, 37,159-165.

[49] Alamilla-Beltrán, L., Chanona-Pérez, J.J., Jiménez-Aparicio, A.R., Gutiérrez-López, G.F. (2005). Description of morphological changes of particles along spray drying. *J. Food Eng.*, 67,179-184.
[50] Renata, V., Tonon Catherine Brabet, M. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Res Int.*, 43,907–914.
[51] Walton, D.E. (2007). The morphology of spray-dried particles, a qualitative view. *Dry. Technol.*, 18,1943-1986.

A., Hawa, Z.E. (2012). Phenolic compounds characterization and biological activities of *Citrus aurantium* bloom. *Molecules.*, 17,1203-1218.
[31] Caliskan, G., Dirim, S.N. (2013). The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and bioprod. process.*, 91,539-548.
[32] Moser, P., Telis, N., Neves, N.A., García-Romero, E., Gómez-Alonso, S., Hermosín-Gutiérrez, I. (2017). Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. *Food Chem.*, 214, 308-318.
[33] Zhou, D., Pan, Y., Ye, J., Jia, J., Ma, J., Ge, F. (2017). Preparation of walnut oil microcapsules employing soybean protein isolate and maltodextrin with enhanced oxidation stability of walnut oil. *LWT - Food Sci. Technol.*, 83,292-297.
[34] Simon-Brown, k., MisSolval, k., Chotiko, A., Alfaro, L., Reyes, V., Liu, Ch., Dzandu, B., Barnaby, E., Thompsona, I., Xu, Z. (2016). Microencapsulation of ginger (*Zingiber officinale*) extract by spray drying technology. *LWT - Food Sci. Technol.*. 70,119-125.
[35] Bhandari, B.R., Dumoulin, E.D., Richard, H.M.J., Noleau, I., Lebert, A.M. (1992). Flavor encapsulation by spray drying: Application to citral and linalyl acetate. *J. Food Sci.*, 57,217-221.
[36] Grabowski, J.A., Truong, V.D., Daubert, C.R. (2006). Spray-drying of amylase hydrolyzed sweet potato puree and physicochemical properties of powder. *J. Food Sci.*, 71, 209-217.
[37] Ezhilarasi, P.N., Indrani, D., Jena, B.S., Anandharamakrishnan, C. (2014). Microencapsulation of Garcinia fruit extract by spray drying and its effect on bread quality. *J. Sci. Food Agric.*, 94, 1116-1123.
[38] Kha, T.C., 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.*, 98,385-392.
[39] Mishra, P., Mishra, S., Mahanta, C.L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food Bioprod. Process.*, 92, 252-258.
[۴۰] سرابندی، خ؛ پیغمبردوست، س.ه. (۱۳۹۴) تأثیر برخی پارامترهای تولید و زمان نگه‌داری بر ویژگی‌های جریان‌پذیری پودر عصاره مالت خشک شده به روش پاششی. *مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران*، سال ۱۰، شماره ۱، ص ۶۰-۵۱.
[41] 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 Technol.*, 258, 209-215.

www.SID.ir

Archive of SID

Research Article

Study of physical and antioxidant properties of the microencapsules containing of *Citrus aurantium* extract prepared by spray drying method

Elahe-Sadat Ghazali[1], Mehdi Gharekhani[2*], Hamed Hamishekar[3]

1. M.Sc. Student, Department of Food science and technology, Tabriz branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Food science and technology, Tabriz branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.
3. Associate Professor, Drug Applied Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Iran.

Abstract

In this research, the microcapsulation of polyphenolic compounds of *Citrus aurantium* extract was designed to provide a solution by improving their stability and protecting them against oxidation, light, moisture and temperature. For this purpose, a lab scale spray-dryer was used to produce microcapsules of *Citrus aurantium* extract using maltodextrin(MD), gum arabic(GA) and their combination(MD+GA) as a coating material. Quizzes powder production yields, phenolic compounds content and encapsulation efficiency, antioxidant capacity, moisture content, hygroscopicity, bulk density, solubility, morphology and particle size were evaluated. The results of this study clearly showed that the encapsulation of the *Citrus aurantium* extract with spray dryer by using maltodextrin was effective and had higher productivity (above 90%) than two other wall materials. Also, maltodextrin capsule has a higher yields(87.4%), better antioxidant activity(60.91%), low moisture content(2.10%), low hygroscopicity(45.76%), low bulk density(0.449g/ml), high solubility(79.38%) and morphological structure were better than other capsules. Particle size was not significantly different in samples. Finally, the microcapsule of the *Citrus aurantium* extract dried by maltodextrin was presented as the comprehensively microcapsule.

Keywords: **Encapsulation, *Citrus aurantium*, Phenolic compounds, Spray Drying, Gum Arabic, Maltodextrin.**

* Corresponding author: m.gharekhani@iaut.ac.ir

www.SID.ir