



اثر خشک کردن انجمادی و پاششی بر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و ریخت‌شناسی عصاره سیر ریزپوشانی شده

سمیه لقمانی فر^{*}، لیلا روزبه نصیرایی^۱، حمیدرضا نوری^۲، سارا جعفریان^۱

^۱گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، مازندران، ایران

^۲گروه ایمنولوژی، دانشگاه علوم پزشکی بابل، بابل، مازندران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۵

چکیده

سابقه و هدف: بر اساس مطالعات اپیدمیولوژیک بین مصرف مواد غذایی با منشأ گیاهی و مزایای سلامت‌بخشی رابطه مستقیم وجود دارد. ترکیبات حاوی سولفور در خانواده سیر از مهم‌ترین مواد زیست فعال گیاهی موجود در رژیم غذایی با ویژگی‌های سلامت‌بخشی هستند. آلیسین موجود در گیاه سیر می‌تواند به‌عنوان مکمل غذایی و جهت پیشگیری از بسیاری از بیماری‌ها مورد استفاده قرار گیرد. درحالی‌که این ترکیب فرار، ناپایدار و واکنش‌پذیر بوده و به آسانی باعث تحریکات موکوس معده انسان می‌شود. همچنین بوی نامطبوع این ترکیبات سبب عدم تمایل به استفاده از سیر است. ریزپوشانی یکی از راه‌های پوشاندن عطر سیر و حفظ ترکیبات مؤثر آن می‌باشد. در پژوهش حاضر عصاره سیر با پوشش بتاسیکلودکسترین و نشاسته متخلخل و به دو روش خشک‌کردن انجمادی و پاششی به‌منظور محافظت عطر و طعم و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی ریزپوشانی شد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از بتاسیکلودکسترین و نشاسته متخلخل به‌عنوان ماده دیواره و از روش خشک‌کردن پاششی و انجمادی جهت ریزپوشانی استفاده گردید. نمونه‌ها از لحاظ ارزیابی حسی، درصد رطوبت، ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی (قابلیت مهارکنندگی رادیکال آزاد، ظرفیت احیاکنندگی آهن سه‌ظرفیتی و میزان فنل کل)، کارایی ریزپوشانی و ویژگی‌های مورفولوژی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج مقایسه روش خشک کردن بر ویژگی‌های پودر (شکل، کارایی، ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و رطوبت) نشان داد که نمونه‌های تهیه شده با روش خشک‌کردن پاششی ضمن این که از شکل کروی برخوردار بوده و دارای رطوبت کمتری بودند، نسبت به پودر حاصل از خشک‌کردن انجمادی (بی‌شکل و نامتقارن) راندمان ریزپوشانی بالاتری داشتند و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتری را در خود حفظ نمودند. همچنین بر اساس نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن پاششی از بهترین میزان پوشش‌دهی از لحاظ عطر و طعم برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری: بررسی ریزپوشانی عصاره سیر با دو روش خشک کردن پاششی و انجمادی و با استفاده از بتاسیکلودکسترین نشان داد میزان ریزپوشانی و کارایی آن نه تنها به غلظت و نوع مواد دیواره، بلکه به روش یا فرآیند ریزپوشانی بستگی دارد. نمونه‌های تهیه شده با خشک‌کن پاششی نسبت به پودر حاصل از خشک‌کن انجمادی راندمان ریزپوشانی بالاتری داشته و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتری را در خود حفظ نمودند.

واژه‌های کلیدی: آلیسین، ریزپوشانی، آنتی‌اکسیدان، خشک‌کردن پاششی، خشک‌کردن انجمادی

*مسئول مکاتبه: loghmanifar_s@yahoo.com

مقدمه

الیسین موجود در گیاه سیر می‌تواند به‌عنوان یک مکمل غذایی و جهت پیشگیری از بسیاری از بیماری‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اما آلیسین یک ترکیب فرار، ناپایدار، واکنش پذیر با انحلال پذیری پایین در آب می‌باشد. این ترکیب به آسانی باعث تخریقات موکوس معده انسان شده و در معرض اکسیدان‌ها، نور و حرارت تخریب می‌گردد (۲۳، ۲۵، ۴۴). همچنین بو و طعم نامطبوع آلیسین باعث عدم تمایل به استفاده از آن می‌شود. این موارد عوامل محدود کننده استفاده از آلیسین در صنایع غذایی و دارویی می‌باشند و در نتیجه برای استفاده از آن باید شرایط ویژه‌ای به‌کار گرفته شود. برای این منظور می‌توان از روش ریزپوشانی (کپسوله کردن) استفاده کرد. ریزپوشانی فرآیندی است که در آن اجزای جامد، مایع و گاز درون کپسول‌های کوچک گنجانده می‌شوند و می‌توانند محتویاتشان را با سرعت کنترل شده و تحت شرایط ویژه آزاد سازند. با ریزپوشانی آلیسین با زیست‌پلیمرها، می‌توان ضمن پوشش‌دهی مزه و بوی آلیسین مدت زمان ماندگاری محصول را افزایش داد (۱۶، ۳۱).

به دلایل مختلف از جمله کاهش واکنش هسته با عوامل محیطی (نور، اکسیژن و آب)، حفاظت از اکسیداسیون و دهیدراسیون مواد در طول مدت فرآوری و نگهداری، جلوگیری از افت ارزش تغذیه‌ای و متابولیکی مواد و حفاظت از برهمکنش‌های نامطلوب با دیگر اجزای مواد غذایی از ریزپوشانی به‌عنوان یک روش مؤثر برای حفاظت از ترکیبات حساس استفاده می‌شود (۱۴، ۴، ۹). سیکلودکسترین‌ها ساختارهای قندی هستند که اجزای آبگریز را انکپسوله کرده و از اجزای انکپسوله در برابر اکسایش و واکنش‌های تجزیه حرارتی حفاظت می‌کنند (۳۱). بنابراین، ریزپوشانی روغن سیر سبب

کاهش سرعت فراریت، افزایش مقاومت حرارتی، افزایش دوام ویژگی‌های ضد میکروبی و افزایش حفاظت در برابر واکنش‌های اکسایشی آن خواهد شد. سیکلودکسترین‌ها ترکیبات غیرسمی هستند که در دستگاه گوارش جذب نشده و به‌طور کامل با میکروفلور روده متابولیزه می‌شوند. به علاوه، آلفا، بتا و گاما سیکلودکسترین‌ها به‌عنوان افزودنی‌های غذایی توسط سازمان غذا و دارو^۱ (FDA) ایمن در نظر گرفته شدند (۱۱، ۴۲). به دلیل وجود حفره آبگریز در مولکول‌های سیکلودکسترین مواد در کمپلکس به‌دام افتاده و ترکیباتی را تشکیل می‌دهند. شیمی مولکولی نمایانگر سیستمی با پیچیدگی ساختاری است که سیکلودکسترین در آن میزبان و بستر در آن مهمان هستند و با برهمکنش‌های واندروالسی، برهمکنش‌های آبگریز و پیوند هیدروژنی در کنار هم نگه داشته می‌شوند. این مشخصه‌ها مولکول‌های بتا سیکلودکسترین را به گزینه خوبی برای ریزپوشانی بسیاری از ترکیبات آلی و نیز یک روش عالی برای حفاظت از اسانس در برابر تجزیه، تبدیل می‌کنند (۴۳). ریزپوشانی به روش‌های مختلفی از جمله امولسیون سازی، کوآسرواسیون^۲، خشک کردن پاششی، سردکردن پاششی، خشک کردن انجمادی، پوشش دادن به روش بستر سیال و اکستروژن صورت می‌گیرد (۵). اساس ریزپوشانی به روش خشک کردن پاششی شامل تهیه امولسیون روغن در آب هسته و دیواره و پاشش آن در هوای گرم محفظه خشک‌کن می‌باشد. با تبخیر حلال، قطرات هسته در شبکه جامدی از ماده دیواره گرفتار شده و به این ترتیب ریزکپسول‌ها تشکیل می‌شوند. با توجه به این که زمان خشک کردن در این فرآیند کوتاه است، دمای هسته چندان افزایش نمی‌یابد، بنابراین می‌توان برای

1. Food and Drug Administration
2. Coacervation

بیان کردند که می‌توان مجموعه‌ای از GO/βCD را در فرمول بندی سیستم‌های غذایی مانند سس سالاد و سوسیس پیشنهاد کرد (۲۲). بوفو و رینسیوس (۲۰۰۱) روش‌های مختلف خشک‌کردن انجمادی، پاششی و غلطکی را برای ریزپوشانی روغن حاصل از پرس سرد پرتقال والنسیا با صمغ عربی و نشاسته اصلاح شده بررسی و مقایسه کردند (۸). بر اساس نتایج این محققان پودر حاصل از روش خشک‌کردن انجمادی ویژگی‌های مطلوب‌تری نسبت به پودر بدست آمده از دیگر روش‌های مورد مطالعه از جمله خشک‌کردن پاششی داشت (۸).

در مطالعات قبلی اکثراً از روش خشک‌کن پاششی برای ریزپوشانی سیر استفاده شده و روش انجمادی مورد مطالعه قرار نگرفته است. در نتیجه در این پژوهش عصاره سیر با پوشش بتاسیکلودکسترین و نشاسته متخلخل با دو روش خشک‌کن انجمادی و پاششی کپسوله شد تا از لحاظ عطر و طعم و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی محافظت گردد. جهت مقایسه و دستیابی به بهترین روش، نمونه‌ها از لحاظ ارزیابی حسی، ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و مورفولوژی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

مواد و تجهیزات: ۲ و ۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل^۴ (DPPH)، معرف فولین سیوکالتیو، استاندارد اسید گالیک، توئین ۸۰، بتاسیکلودکسترین و نشاسته متخلخل از شرکت سیگما (Sigma Aldrich GmbH, Sternheim, Germany)، اتانول و اسید آسکوربیک از مرک (Darmstadt, Germany) تهیه شدند. برای تهیه و آماده‌سازی کلیه محلول‌ها از آب دیونیزه استفاده گردید. تجهیزات مورد استفاده شامل

ریزپوشانی مواد حساس به حرارت از آن استفاده کرد (۴۳). از دیگر تکنیک‌های ریزپوشانی، خشک‌کردن انجمادی است. این تکنیک فرآیند آگیری است که با انجماد مواد و سپس کاهش فشار محیط سبب می‌شود تا آب منجمد شده در ماده مستقیماً از فاز جامد به فاز گازی تصعید گردد (۱). در این روش عطر و طعم و دیگر موادمغذی عمدتاً بدون تغییر باقی می‌مانند. از آنجایی که خشک‌کردن انجمادی به ماده آسیب کمتری وارد می‌سازد نسبت به سایر روش‌های آگیری که در دمای بالاتر عمل می‌کنند، یک مزیت به شمار می‌رود (۲۱، ۱۳).

در مطالعه پیلتی و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی فرآیند ریزپوشانی روغن سیر در بتا سیکلودکسترین^۱ و (βCD) و ویژگی‌های آنتی‌باکتریال ترکیب روغن سیر-βCD در برابر *اشرشیاکلی* و *استافیلوکوکوس اورئوس* پرداخته شد (۳۱). روش ریزپوشانی، پایداری حرارتی روغن سیر را با مقدار ثابت تشکیل (Kc) برابر ۲۵۳/۷۸ لیتر بر مول برای ترکیب روغن سیر-βCD افزایش داد که تأییدکننده موفقیت فرآیند ریزپوشانی بود. پس از فرآوری حرارتی کمپلکس در ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱ ساعت، این ترکیب اثر ضدباکتریایی خود را حفظ نمود. حداقل غلظت مهارکنندگی^۲ (MIC) و نتایج پخش آگار نشان داد که میکروکپسول‌های حاوی ۸۱/۷۳ میلی‌مولار از روغن سیر اثر ضدباکتریایی عالی دارند (۳۱).

خوش طینت و همکاران (۲۰۱۷) شرایط ریزپوشانی کردن روغن سیر^۳ (GO) با بتاسیکلودکسترین را با استفاده از روش سطح پاسخ با سه متغیر و در سه سطح بهینه‌سازی کردند. شرایط بهینه شامل درجه حرارت ۳۵ درجه سانتی‌گراد، نسبت هسته به دیواره ۱۰۰:۸ و نسبت دیواره به حلال ۵/۵:۱۰۰ بود. آنها

1. Beta-Cyclodextrin
2. Minimum Inhibitory Concentration
3. Garlic Oil

4. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

حمام التراسونیک مدل Elma-آلمان، اسپکتروفتومتر مدل Labnics، خشک‌کن پاششی مدل BUCHI B-191، خشک‌کن انجمادی مدل EHRSA - آلمان، میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Tescan, Nira2, Lnu چک و اولتراتورکس مدل T25 آلمان بود.

عصاره‌گیری از سیر: حبه‌های سیر پس از پوست‌گیری شسته شده و در مخلوط کن به قطعات یکدست و ریز تبدیل شدند. سپس به نسبت ۲:۱ با آب مقطر مخلوط و در حمام فراصوت در زمان ۱۰ دقیقه با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، توان ۴۰ وات و فرکانس ۳۷ هرتز قرار گرفتند. سپس محلول بدست آمده با کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف و در نهایت در خشک‌کن انجمادی به پودر تبدیل شد (۳۲).

تهیه امولسیون: تهیه امولسیون مطابق با روش وانگ و همکاران (۲۰۱۱) و خوش طینت و همکاران (۲۰۱۷) با کمی اصلاحات انجام شد. عصاره سیر تهیه شده که جهت حفاظت از نور و سایر عوامل تخریب کننده در جای خشک و خنک نگهداری می‌شد، به عنوان ماده هسته و بتاسیکلودکسترین و نشاسته متخلخل به عنوان ماده دیواره در نظر گرفته شدند. نسبت بتاسیکلودکسترین به نشاسته ۱:۷ بود. عصاره ۱ درصد (انحلال یک گرم عصاره در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) به صورت قطره‌ای به محلول دیواره اضافه گشت و سپس چند قطره توئین ۸۰ به آن افزوده شد. مخلوط در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت و عملیات هم زدن به کمک همزن مغناطیسی انجام گرفت. نمونه‌ها سپس با اولتراتورکس (T25، آلمان) در سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه هموژنیزه شدند. نمونه‌ها پس از اندازه‌گیری pH، به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط در ظرف دربسته نگهداری شدند (۲۲، ۴۳).

ریزپوشانی و خشک‌کردن امولسیون با استفاده از خشک‌کن پاششی: نمونه‌های امولسیون تهیه شده با استفاده از یک خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی (مدل BUCHI B-191) با دمای ورودی ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت خوراک‌دهی ۱۰ میلی‌لیتر بر دقیقه و فشار ۳۵۰ کیلوپاسکال خشک شدند. به منظور جلوگیری از جذب رطوبت، پودرهای حاصل تا زمان انجام تمامی آزمایشات (به مدت یک هفته) در داخل دسیکاتور و در دمای اتاق نگهداری گردیدند (۲۱، ۲۳).

ریزپوشانی و خشک‌کردن امولسیون با استفاده از خشک‌کن انجمادی: امولسیون‌های تهیه شده در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت منجمد شده و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه خشک‌کن انجمادی (آلمان، EHRSA) در دمای ۵۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. امولسیون‌های خشک‌شده برای آزمایشات بعدی در ظرف دربسته و در دمای یخچال نگهداری شدند (۲۱، ۲۳).

انجام آزمون بر روی پودرها: آزمون محتوای رطوبت، تعیین فنل کل، تعیین درصد مهار رادیکال آزاد DPPH، آزمون FRAP، کارایی ریزپوشانی، ویژگی‌های مورفولوژی و ارزیابی حسی بر روی کپسول‌های تولید شده به شرح ذیل انجام شد.

محتوای رطوبت: محتوای رطوبت پودرها به روش وزنی از طریق خشک‌کردن در آون تحت دمای ۱۰۲ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت تعیین گردید (۲).

آزمون تعیین فنل کل کپسول‌های تولید شده: اندازه‌گیری ترکیبات فنل کل مطابق با روش پتروپولوس و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد. برای این منظور ۱ میلی‌لیتر از استوک ۲ درصد از هر یک از

ترکیبات محسوب می‌شود (۶). بدین منظور مقدار ۰/۰۲ میلی‌لیتر از عصاره (۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) با ۱ میلی‌لیتر محلول کاری FRAP (شامل ۲۵ میلی‌لیتر استات سدیم، ۲/۵ میلی‌لیتر محلول TPTZ و ۲/۵ میلی‌لیتر محلول کلرید آهن) مخلوط شدند. جذب نمونه پس از ۵ دقیقه قرارگیری در دمای محیط در ۵۹۵ نانومتر خوانده شد. فعالیت احیاکنندگی نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب میکرومول آهن در میلی‌گرم وزن خشک عصاره محاسبه گردید (۳)، (۷).

آزمون کارایی کپسول‌های تولید شده: برای تعیین مقدار عصاره کپسول شده از مقدار ترکیبات فنولی کل موجود در کپسول استفاده شد. استخراج عصاره از کپسول‌ها طبق روش روبرت و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد. برای این منظور ۲۰۰ میلی‌گرم از هر کپسول به ۲ میلی‌لیتر محلول استخراجی شامل متانول:اسید استیک: آب به ترتیب به نسبت ۵۰:۸:۴۲ (حجمی/حجمی/حجمی) اضافه شده و به مدت یک دقیقه همزده شد و در ادامه تحت امواج فراصوت به مدت ۲۰ دقیقه با شدت ۱۰۰ درصد و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز قرار گرفت. بعد از این مرحله سانتریفیوژ کردن در ۵۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد (۳۴). مقدار ترکیبات فنولی کل در محلول رویی با استفاده از روش رنگ سنجی فولین سیوکالتو مطابق با روش ذکر شده تعیین گردید. درصد کارایی کپسوله کردن از رابطه ۲ بدست آمد.

$$\text{رابطه ۲.} \quad 100 \times \frac{\text{مقدار ترکیبات فنولی ریزپوشانی شده}}{\text{مقدار اولیه ترکیبات فنولی موجود}} = \text{کارایی ریزپوشانی (\%)}$$

ویژگی‌های مورفولوژیکی کپسول‌های تولید شده: جهت بررسی ریخت‌شناسی یا مورفولوژی نمونه‌های پودری تولید شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

نمونه‌ها را به ۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتیو افزوده و پس از ۵ دقیقه ۴ میلی‌لیتر کربنات سدیم به هر یک اضافه گردید. پس از ۶۰ دقیقه گذاشتن در تاریکی، میزان جذب نوری هر یک از لوله‌ها توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار کل فنل‌ها با استفاده از معادله به دست آمده از منحنی استاندارد اسید گالیک محاسبه گردید. نتایج بصورت میلی‌گرم اسید گالیک بر وزن خشک عصاره بیان شد (۳۰).

آزمون تعیین درصد مهار رادیکال آزاد DPPH کپسول‌های تولید شده: مطابق با روش سلمانیان و همکاران (۱۳۹۲) و فنجانگ و همکاران (۲۰۱۷) صورت گرفت. در این روش از رادیکالی پایدار ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازین (DPPH) به عنوان معرف استفاده می‌شود. DPPH یک رادیکال آزاد پایدار است که بطور گسترده برای ارزیابی فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد توسط ترکیبات ضد اکسایشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت انجام آزمون ۱ میلی‌لیتر از محلول هر پودر در غلظت‌های مختلف به ۱ میلی‌لیتر محلول DPPH متانولی (۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) اضافه شده و مخلوط حاصل به شدت همزده شد. بعد از ۶۰ دقیقه تاریک‌خانه‌گذاری در دمای محیط، جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ nm در مقابل شاهد خوانده شد. آنتی اکسیدان سنتزی (BHA) به عنوان آنتی‌اکسیدان استاندارد و شاهد (محلول DPPH متانولی تهیه شده به علاوه حلال متانول) بود (۱۵، ۳۷). میزان فعالیت گیرندگی رادیکال^۱ عصاره‌ها مطابق با رابطه ۱ تعیین گردید.

$$\text{رابطه ۱.} \quad 100 \times \frac{\text{جذب نمونه - جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}} = \text{درصد مهار}$$

آزمون FRAP کپسول‌های تولید شده: ظرفیت احیاکنندگی شاخص مهم فعالیت ضد اکسایشی

دیواره بتاسیکلودکسترین به دو روش پاششی و انجمادی در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج میزان حفظ ترکیبات فنلی تحت تأثیر نوع روش خشک کردن بوده است. بالاترین مقادیر ترکیبات فنلی و در نتیجه کارایی ریزپوشانی در تیمار مربوط به خشک کن پاششی مشاهده شد. تفاوت معنی داری ($P < 0.05$) در دو تیمار حاصل از خشک کن انجمادی و پاششی مشاهده گردید.

نتایج مربوط به میزان مهارکنندگی رادیکال آزاد توسط کپسول‌های تهیه شده در شکل ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج میزان درصد مهارکنندگی تحت تأثیر نوع روش خشک کردن متفاوت بوده است. بالاترین میزان مهارکنندگی (۵۰ درصد) در تیمار خشک شده با خشک کن پاششی و در ۵۰۰۰ ppm مشاهده شد؛ در حالی که تیمار خشک شده با خشک کن انجمادی در این غلظت مهارکنندگی بسیار کمتری را از خود نشان داد ($P < 0.05$).

بالا بودن میزان مهار رادیکال آزاد DPPH در این روش‌ها به میزان بالاتر ترکیبات فنلی و توکوفرولی برمی گردد. قدرت مهارکنندگی عصاره‌های مختلف به میزان زیادی به تعداد و موقعیت گروه‌های هیدروکسیل و وزن مولکولی ترکیبات فنولی بستگی دارد (۲۸). نتایج این بررسی همانند سایر پژوهش‌ها نشان داده است که تیمارهایی که ترکیبات فنلی بالاتری دارند، فعالیت ضد رادیکالی بیشتری را نشان می‌دهند (۲۵). لازم به ذکر است ترکیبات فنلی به صورت مؤثرتری به‌عنوان دهنده هیدروژن عمل نموده لذا به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان مؤثر عمل می‌کنند. همچنین با افزایش غلظت و یا درجه هیدروکسیلاسیون ترکیبات فنلی، فعالیت مهار رادیکال آزاد DPPH افزایش می‌یابد (۱۸).

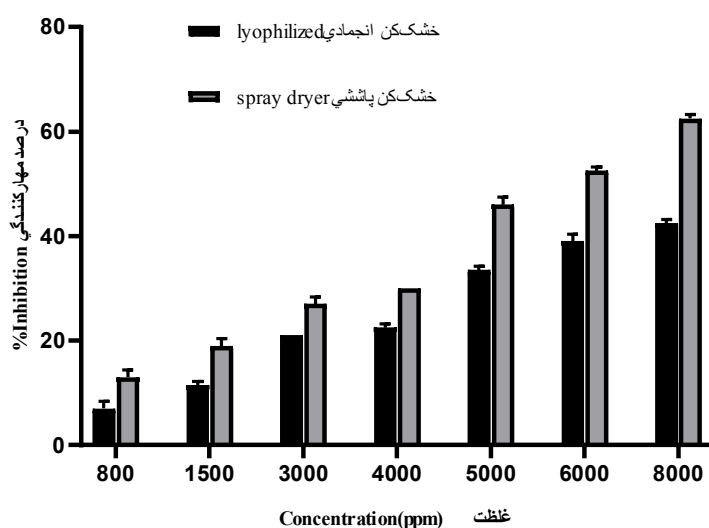
(مدل Tescan, Nira2, Lnu) ساخت کشور جمهوری چک استفاده شد. پس از پوشش‌دهی نمونه‌ها با طلا، از سطح خارجی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی در ولتاژ ۱۵ کیلوولت و با بزرگنمایی‌های متفاوت تصویربرداری شد (۱۹، ۳۱).
ارزیابی حسی: کپسول‌های تولید شده از لحاظ مقبولیت کلی، عطر و بو توسط ۲۳ ارزیاب مورد داوری قرار گرفتند. نتایج حاصل توسط نرم افزار SPSS از لحاظ آماری آنالیز و بهترین نمونه انتخاب شد (۴۵).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS 22 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید. مقادیر IC50 با کمک نرم‌افزار Graph Pad Prism8 بدست آمد. تمامی نمونه‌ها در سه تکرار مورد آزمون قرار گرفتند.

نتایج و بحث

محتوای رطوبت: میزان رطوبت پودر حاصل از روش خشک کردن پاششی و خشک کردن انجمادی در جدول ۱ آمده است همچنین ملاحظه می‌شود که بطور کلی رطوبت پودر حاصل از روش خشک کردن پاششی کمتر از رطوبت پودر بدست آمده از روش خشک کردن انجمادی است (جدول ۱). این امر به دلیل تفاوت در مکانیسم حذف آب در هر یک از دو روش است که علاوه بر ساختار ریزکپسول تهیه شده، بر ظرفیت نگهداری آب و لذا میزان رطوبت نهایی پودر اثرگذار خواهد بود (۲).

آزمون‌های آنتی‌اکسیدانی (فنل کل، DPPH و FRAP) و کارایی ریزپوشانی: نتایج مربوط به میزان ترکیبات فنلی کل براساس میلی‌گرم اسیدگالیک در گرم وزن خشک عصاره کپسول‌های تهیه شده با



شکل ۱- اثر غلظت کپسول‌های حاوی سیر بر میزان درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH

Figure 1. Effect of concentrations of garlic-extract loaded capsules on the DPPH radical scavenging activity

ویژگی آنتی‌اکسیدانی در ارتباط می‌باشد و با افزایش میزان ترکیبات فنلی این ویژگی نیز افزایش می‌یابد؛ لذا کمتر بودن IC_{50} در تیمار خشک‌کن پاششی امری بدیهی است (۳۳).

تاواریس و همکاران (۲۰۱۸) میزان فنل کل سیر کپسوله‌شده را کمتر از میزان فنل کل سیر آزاد گزارش کردند. میزان حفظ ترکیبات فنلی در کپسول با پوشش کیتوزان ۸۳ درصد، پروتئین آب پنیر برابر با ۵۱/۰۴ درصد، پوشش کیتوزان ۹۴- پروتئین آب پنیر برابر با ۵۴/۴۵ درصد و پوشش کیتوزان ۹۶- پروتئین آب پنیر برابر با ۶۱/۴۰ درصد اعلام نمودند (۴۰). کوک و همکاران (۲۰۱۶) علت کاهش میزان ترکیبات فنولی موجود در ریزکپسول‌ها را قرار گرفتن در معرض اکسیژن و درجه حرارت بالا در فرآیند خشک‌کردن پاششی بیان نمودند (۲۴).

تسا و همکاران (۲۰۱۰) ویژگی ضدآکسایشی کمپلکس دربرگیرنده پائول با بتاسیکلودکستین را به روش DPPH بررسی و نشان دادند که ریزپوشانی پائونول با بتاسیکلودکستین توانایی آن در حذف رادیکال DPPH را بهبود می‌بخشد و علت آن به اثر

نجفی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی ماندگاری روغن هل در میکروکپسول‌های تهیه شده از نشاسته اصلاح شده و پودر شیرخشک بدون چربی با دو روش خشک‌کردن پاششی و انجمادی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که بقای ماده معطر هل در پودر حاصل از خشک‌کن انجمادی کم بوده؛ در حالی که در میکروکپسول‌های بدست آمده از خشک‌کن پاششی به نوع ماده دیواره و فرآیند خشک‌کردن بستگی دارد (۲۹). معمولاً برای مقایسه فعالیت ضدرادیکالی عصاره‌های مختلف از فاکتوری تحت عنوان IC_{50} استفاده می‌گردد. طبق تعریف IC_{50} به غلظتی از عصاره گفته می‌شود که در آن ۵۰ درصد از رادیکال آزاد DPPH موجود در محیط واکنش مهار شوند. بنابراین هرچه این غلظت کمتر باشد، نشان دهنده فعالیت آنتی‌رادیکالی بالاتر است. نتایج مربوط به مقادیر IC_{50} در مطالعه حاضر در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رود، کمترین مقادیر IC_{50} مربوط به تیمار خشک‌کن پاششی ($\mu\text{g/ml}$ ۵۹۴۲) و بیشترین مقادیر مربوط به تیمار خشک‌کن انجمادی ($\mu\text{g/ml}$ ۱۰۰۷۵) بود. میزان ترکیبات فنلی با

($P < 0.05$). در روش FRAP ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با کمپلکس $(\text{Fe}(\text{TPTZ}))^{+3}$ واکنش می‌دهند و کمپلکس آبی رنگ فرس $(\text{Fe}(\text{TPTZ}))^{+2}$ را در محیط اسیدی ایجاد می‌کنند (۳۸). تان و همکاران (۲۰۱۵) قدرت احیاکنندگی قابل توجه پلی‌ساکارید حاصل از ریشه گیاه *Dipsacus asperoides* را به حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار پلی‌ساکارید نسبت دادند که می‌تواند در احیا Fe^{3+} به Fe^{2+} شرکت نماید (۳۹).

متقابل گروه هیدروکسیل بتاسیکلودکسترین و پائونول و تشکیل پیوند هیدروژنی بین مولکولی نسبت داده شد (۴۱).

نتایج مربوط به میزان قدرت احیاکنندگی آهن سه ظرفیتی براساس میلی‌مول آهن در گرم وزن خشک کپسول‌های تهیه شده در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به نتایج میزان قدرت احیاکنندگی یون آهن تحت تأثیر نوع روش خشک‌کردن بوده است و بالاترین مقادیر قدرت احیاکنندگی در تیمار خشک شده با خشک‌کن پاششی (۳۲/۱۹) مشاهده شد

جدول ۱- میزان رطوبت، فنل کل، کارایی درون‌پوشانی، IC_{50} ، قدرت احیاکنندگی آهن سه‌ظرفیتی کپسول‌های محتوی عصاره سیر تولید شده به روش خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی

Table 1. Moisture content, total phenolic content, efficiency, half-maximal inhibitory concentration (IC_{50}), ferric reducing antioxidant power (millimoles Fe^{3+} per gram dry weight of extract) of capsules containing garlic extract with β -cyclodextrin wall by spray and freeze drying methods

عصاره آزاد سیر Free Garlic Extract	خشک‌کن انجمادی F.D.	خشک‌کن پاششی S.D.	نمونه Sample
-	1.81±0.09 ^b	1.1±0.01 ^a	مقدار رطوبت (%) Moisture content (%)
0.42±0.08 ^a	0.18±0.06 ^c	0.34±0.04 ^b	فنل کل Total phenolic content
-	43.04% ^b	80.61% ^a	کارایی درون‌پوشانی Encapsulation efficiency
1378 ^a 0.97	10075 ^c 0.97	5942 ^b 0.93	مقدار IC_{50} R-squared
58.17±0.08 ^b	27.31±3.78 ^d	32.19±5.18 ^c	قدرت کاهش یون‌های آهن سه‌ظرفیتی Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

حروف کوچک متفاوت بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار ($P < 0.05$) می‌باشد.

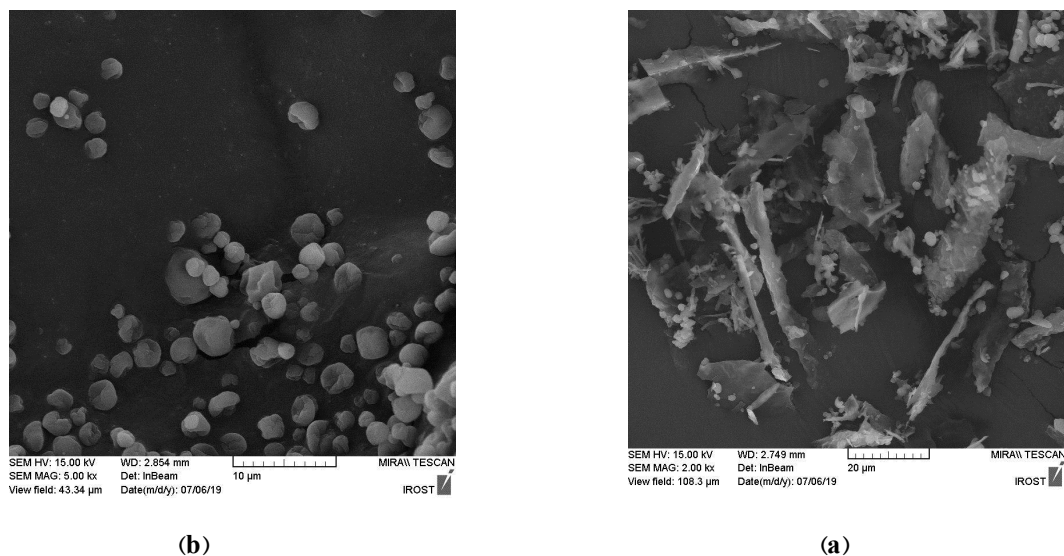
* Small different letters indicate a statistically significant difference ($P < 0.05$).

* S.D. و F.D. به ترتیب بیانگر نمونه خشک شده با خشک‌کن پاششی و انجمادی می‌باشند.

S.D. and F.D. indicate dried samples produced by spray and freeze dryer, respectively.

بر ساختار ذرات می‌دهند (۲۰). یکی از ویژگی‌هایی که می‌توان با گرفتن عکس‌های میکروسکوپی به آن پی برد، شرایط سطوح خارجی میکروکپسول‌های تولید شده با خشک‌کن پاششی و انجمادی و بررسی یکنواختی یا وجود فرورفتگی‌ها بر سطح آن‌ها می‌باشد (۳۶، ۲۰).

بررسی ساختار کپسول‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی: ساختار کپسول‌ها به کمک تصویر میکروسکوپ الکترونی بررسی و در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. مطالعات مورفولوژی ذرات پودرهای خشک شده، دیدگاه‌های ارزشمندی را نسبت به تأثیر شرایط خشک‌کردن امولسیون‌ها و عوامل شیمیایی و فیزیکی



شکل ۲- ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی از نمونه تولید شده با دیواره بتاسیکلودکسترین و نشاسته توسط

الف) خشک کن انجمادی و ب) خشک کن پاششی

Figure 2. Scanning electron microscope images of samples by β -cyclodextrin and starch wall produced by a) freeze dryer, and b) spray dryer

ترکیب مواد دیواره‌ای و پارامترهای خشک کردن، بلکه به اندازه قطر ذرات امولسیون نیز بستگی دارد (۲۷). همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود، هنگامی که از بتاسیکلودکسترین جهت ریزپوشینه کردن عصاره سیر استفاده شد، ذراتی کروی با کمترین فرورفتگی‌های سطحی و چین‌خوردگی ایجاد شد. این یافته مشابه تحقیق ژو و همکاران (۲۰۱۴) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) و تأییدی بر تشکیل کمپلکس دربرگیرنده می‌باشد. نتایج دلالت بر تأثیر سیر بر ایجاد آشفستگی در بلورهای تجمعی بتاسیکلودکسترین می‌باشد که طی فرآیند تشکیل کمپلکس دربرگیرنده، می‌تواند عمیق تر شود. در تحقیق ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) تصاویر تهیه شده با میکروسکوپ الکترونی از بتاسیکلودکسترین و کمپلکس دربرگیرنده، ترانس آنتول یا بتاسیکلودکسترین نتایج مشابهی با تحقیق حاضر در برداشت (۴۶، ۴۷). براساس تحقیقات انجام شده، مهم‌ترین عوامل موثر بر مورفولوژی پودرهای تولید

بر اساس تصاویر میکروسکوپ الکترونی از ریزکپسول‌های تهیه شده در دو روش خشک کردن با استفاده از خشک کن پاششی پودرهایی با ساختار کروی حاصل شد (شکل ۲)؛ در حالی که پودرهای حاصل از خشک کن انجمادی ساختار شیشه‌ای شکل و نامنظم داشتند (شکل ۳). ریزساختار نامتقارن پودر خشک کن انجمادی احتمالاً به علت محتوی بالای رطوبت (جدول ۱) پودرهای بدست آمده می‌باشد. ساختار نامتقارن پودرهای حاصل از خشک کن انجمادی و ساختارهای کروی پودرهای تولیدی از خشک کن پاششی طی فرآیند از دست دادن آب، مولکول‌های به دام افتاده را از اکسیژن و گرما محافظت می‌کنند (۳۵). ساختار نامتقارن پودر حاصل از خشک کن انجمادی که ناشی از رطوبت بالاتر آن در این روش است، می‌تواند بر راندمان ریزپوشانی و بویژه بازدارای روغن در درون کپسول نیز مؤثر باشد. تشکیل فرورفتگی‌های سطحی در نمونه‌هایی که توسط خشک کن پاششی خشک می‌گردند، نه تنها به

حسی می‌باشند و دیواره به خوبی توانسته عطر و بوی سیر را بپوشاند.

نتیجه‌گیری

بررسی ریزپوشانی عصاره سیر با دو روش خشک‌کن پاششی و انجمادی و با استفاده از بتاسیکلودکسترین نشان داد میزان ریزپوشانی و کارایی آن نه تنها به غلظت و نوع مواد دیواره، بلکه به روش یا فرآیند ریزپوشانی بستگی دارد. نمونه‌های تهیه شده با روش خشک‌کردن پاششی ضمن برخورداری از شکل کروی و میزان رطوبت کمتر از راندمان ریزپوشانی بالاتری نسبت به پودر حاصل از خشک‌کن انجمادی (بی‌شکل و نامتقارن) برخوردار بودند و ویژگی آنتی‌اکسیدانی بیشتری را در خود حفظ نمودند. همچنین با توجه به نتایج ارزیابی حسی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که خشک‌کن پاششی در پوشاندن عطر و طعم سیر بطور موفق‌تری عمل می‌کند.

منابع

1. Abdelwahed, W., Degobert, G., Stainmesse, S., and Fessi, H. 2006. Freeze-drying of nanoparticles: formulation, process and storage considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 58: 15.1688-1713.
2. Adamiec, J., and Kalemba, D. 2006. Analysis of microencapsulation ability of essential oils during spray drying. *J. of Drying Technology*. 24: 9.1127-1132.
3. Amamcharla, J., and Metzger, L. 2014. Modification of the ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay to determine the susceptibility of raw milk to oxidation. *International Dairy Journal*. 34: 2. 177-179.
4. Balasubramani, P., Viswanathan, R., and Vairamani, M. 2013. Response surface optimisation of process variables for microencapsulation of garlic (*Allium*

sativum L.) oleoresin by spray drying. *J. of Biosystems Engineering*. 114: 3. 205-213

شده شامل ویژگی‌های مواد استفاده شده به عنوان دیواره (۱۰، ۱۲)، شرایط پودری شدن در نازل و اندازه قطرات خروجی از آن (۲۸) و سرعت و یکنواختی فرآیند خشک‌شدن در تمام قسمت‌های ذره می‌باشند (۲۳، ۳۳، ۲۰). ایجاد چنین حفره‌هایی به‌عنوان ویژگی‌های میکروکپسول‌های تهیه شده با روش خشک‌کن پاششی ذکر شده است (۱۷).

ارزیابی حسی: در تحلیل نتایج حاصل از ارزیابی حسی کپسول‌های تولید شده براساس آزمون Mann-Whitney U میانگین رتبه نمونه S.D. برابر ۲۹/۶۳ و نمونه F.D. برابر ۱۷/۳۷ بدست آمد. همان‌گونه که از نتایج پیداست نمونه خشک‌شده با خشک‌کن پاششی دارای مقبولیت بالاتری نسبت به نمونه لیوفیلیزه بود. اختلاف آماری معنی‌داری بین دو نمونه مشاهده گردید ($P < 0.05$).

می‌توان نتیجه‌گیری نمود که نمونه‌های خشک‌شده با خشک‌کن پاششی علیرغم دارا بودن ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی بیشتر، نمونه بهتری نیز از لحاظ ارزیابی

5. Barrow, C., Wang, B., Adhikari, B. and Liu, H. 2013. Spray drying and encapsulation of omega-3 oils. Pp: 194-225. DOI: 10.1533/9780857098863.2.194
6. Benzie, I.F., and Strain, J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *J. of Analytical Biochemistry*. 239 (1): 70-76.
7. Bhatt, A., and Patel, V. 2013. Antioxidant activity of garlic using conventional extraction and in vitro gastrointestinal digestion. *J. of Free Radicals and Antioxidants*. 3: 1. 30-34
8. Buffo, R.A., and Reineccius, G.A. 2001. Comparison among assorted drying processes for the encapsulation of flavors. *J. of Food Science and Nutrition*. 26: 1. 58-67.

9. Chatterjee, D., and Bhattacharjee, P. 2015. Encapsulation of colour from peels of eggplant in calcium alginate matrix. *J. of Characterisation and food application Nutrafoods*. 14:87-96.
10. Cho, Y.H., Shim, H., and Park, J. 2003. Encapsulation of fish oil by an enzymatic gelation process using transglutaminase cross-linked proteins. *J. of Food Science*. 68: 9. 2717-2723.
11. Ciobanu, A., Landy, D., Fourmentin, S., 2013. Complexation efficiency of cyclodextrins for volatile flavor compounds. *J. of Food Research International*. 53: 1. 110-114.
12. Danviriyakul, S., McClements, D. J., Decker, E.A., Nawar, W.W., and Chinachoti, P. 2002. Physical stability of spray-dried milk fat emulsion as affected by emulsifiers and processing conditions. *J. of Food Science*. 67: 6. 2183-2189.
13. Desobry, S.A., Netto, F.M., and Labuza, T.P. 1997. Comparison of Spray-drying, drum drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. *J. of Food Science*. 62: 6. 1158-1162.
14. Donsi, F., Annunziata, M., Sessa, M., and Ferrari, G. 2011. Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. *LWT-Food Science and Technology*. 44: 9. 1908-1914.
15. Fenfang, L., Qiao, L., Shuanggen, W., and Zhijian, T. 2017. Salting-out extraction of allicin from garlic (*Allium sativum* L.) based on ethanol/ammonium sulfate in laboratory and pilot scale. *J. of Food Chemistry*. 217: 15.91-97.
16. Fratianni, F., Ombra, M.N., Cozzolino, A., Riccardi, R., Spigno, P., Tremonte, P., and Coppola, R.F. 2016. Phenolic constituents, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of different endemic Italian varieties of garlic (*Allium sativum* L.). *J. of Functional Foods*. 21: 1.240-248.
17. Gol Mohammad, F., Ikani, M.H., Shekarollahzadeh, S., and Sadrpushan, A.R. 2016. Determination of Optimum Conditions of Microcapsulation of Pomegranate Oil with Spray Drying Technology. *J. of Modern Food Technology*. 3: 11. 25-38.
18. Golluce, M., Sahin, F., Sokmen, M., Ozer, H., Daferera, D., Sokmen, A., Polissiou, M., Adiguzel, A., and Ozken, H. 2007. Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *longifolia*. *J. of Food Chemistry*. 103: 1.1449-1456.
19. Jafari, S.M., Assadpoor, E., He, Y., and Bhandari, B. 2008. Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray drying. *J. of Drying Technology*. 26: 7. 816-835. (In Persian)
20. Kagami, Y., Sugimura, S., Fujishima, N., Matsuda, K., Kometani, T., and Matsumura, Y. 2003. Oxidative stability, structure, and physical characteristics of microcapsules formed by spray drying of fish oil with protein and dextrin wall materials. *J. of food science*. 68: 7. 2248-2255.
21. Kaushik, V., and Roos, Y.H. 2007. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum arabic-sucrose-gelatin systems. *LWT-Food Science and Technology*. 40: 8.1381-1391.
22. Khoshtinat, Kh., Barzegar, M., Sahari, M.A., and Hamidi, Z. 2017. Encapsulation of Iranian Garlic Oil with β -cyclodextrin: Optimization and its Characterization. *J. of Agricultural Science and Technology*. 19: 1. 97-111.
23. Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., A. Decker, E., and McClements, D.J. 2006. Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. *J. of Food Research International*. 39: 1. 449-457.
24. Kuck, L.S., and Norena, C.P.Z. 2016. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *J. of Food Chemistry*. 194: 1. 569-576.
25. Loghmanifar, S., Roozbeh nasiraei, L., Nouri, H.R., and Jafarian, S. 2019. Evaluation of nutritional value of garlic and its application in health, 4th

- International Congress on engineering, technology and applied sciences, New Zealand-Auckland. (In Persian)
26. Maleki, M., Ariaii, P., and Fallah, H. 2015. Effects of Celery Extracts on the Oxidative Stability of Canola Oil Under Thermal Condition: Antioxidant Effect of Celery Extract on Canola Oil". J. of Food Processing and Preservation. 40: 3. 112-120
 27. Mazloom, A., Hashemi Ravan, M., Farhadyar, N., and Erfani, H. 2014. Characteristics of Coated Blueberries Nanoparticles by Inulin and β -Cyclodextrin. J. of Food Technology Research. 24: 3. 237-246
 28. Moreau, D.L. and Rosenberg, M. 1996. Oxidative stability of anhydrous milk fat microencapsulated in whey proteins. J. of Food Science. 61: 1. 39-43.
 29. Najafi, M. 2010. Application of Ultrasound in the Emulsion Production and Microencapsulation of Effective Compounds of Cardamom Oil. Doctoral dissertation. Ferdowsi University of Mashhad. 1: 90. 160-158. (In Persian)
 30. Petropoulos, S., Fernandes, A., Barros, L., Ana Ciric, Sokovic, M., and Ferreira, I. 2017. Antimicrobial and antioxidant properties of various Greek garlic genotypes. J. of Food Chemistry. 245: 15. 7-12.
 31. Piletti, R., Zanetti, M., Jung, G., Mello, J., Dalcanton, F., Soares, C., Riella, H., and Fiori, M. 2019. Microencapsulation of garlic oil by β -cyclodextrin as a thermal protection method for antibacterial action. J. Materials Science & Engineering. C. 94: 1. 139-149.
 32. Loghmanifar, S., Roozbeh Nasiraie, L., Nouri, H., Jafarian, S. 2020. Effects of Different Extraction Methods on Antioxidant Properties and Allicin Content of Garlic. J. of food science and hygiene. 1: 1. 16-25
 33. Pinelo, M., Del Fabbro, P., Marzocco, L., Nunez, M.J., and Vicoli, M.C. 2005. Optimization of continuous phenol extraction from *Vitis vinifera* byproducts. J. of Food Chemistry. 92: 1. 109-117.
 34. Robert, P., Gorená, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J., and Saenz, C. 2010, Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. International Journal of Food Science and Technology. 45: 13. 86-94.
 35. Roos, Y.H. 1995. Phase transitions in foods. CA: Academic Press. San Diego.
 36. Rosenberg, M., Kopelman, I. J. and Talman, Y. 1985. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. J. of Food Science. 50: 1. 139-44.
 37. Loghmanifar, S., Roozbeh Nasiraie, L., Nouri, H., and Jafarian, S. 2020. Comparison of Fresh and Aged Garlic Extracts in Terms of Antioxidative Power and Allicin Content, Journal of Medicinal Plants and By-products. DOI: 10.22092/jmpb.2020.342409.1193
 38. Shahwar, D., Raza, M.A., Bukhari, S. and Bukhari, G. 2012. "Evaluation of antibacterial properties of essential oils from clove and eucalyptus", Asian Pacific. J. of Tropical Biomedicine. 2: 3. S1633-S1636.
 39. Tan, L.H., Zhang, D., Yu, B., Zhao, S.P., Wang, J.W., Yao, L., and Cao, W.G. 2015. Antioxidant activity and optimization of extraction of polysaccharide from the roots of *Dipsacus asperoides*. Int. J. of Biological Macromolecules. 81: 1. 332-339.
 40. Tavares da Silva, F., Furtado da Cunha, K., Martins Fonseca, L., Dias Antunes, M., Mello El Halal, Sh., Maria Fiorentin, A., Rosa Zavareze, E., and Renato Guerra Dias, A. 2018. Action of ginger essential oil (*Zingiber officinale*) encapsulated in proteins ultrafine fibers on the antimicrobial control in situ, International J. of Biological Macromolecules. 118: 1. 107-115
 41. Tsai, Y., Tsai, H.H., Wub, C.P. and Tsai, F.J. 2010. Preparation, characterization and activity of the inclusion complex of Paeonol with β -cyclodextrin. J. of Food Chemistry. 120: 1. 837-841.
 42. Venturini, C.V., Nicolini, J., Machado, C., and Machado, V.G. 2008. Propriedades e aplicações recentes das ciclodextrinas. J. of Quim. Nova. 31: 2. 360-368.

43. Wang, J., Cao, Y., Sun, B., and Wang, C. 2011. Physicochemical and release characterisation of garlic oil- β -cyclodextrin inclusion complexes. *J. of Food Chemistry*. 127: 1.1680-1685.
44. Wang, Y., Jia, J., Shao, J., Shu, X., Ren, X., Wu, B., and Yan, Z. 2018. Preservative effects of allicin microcapsules on daily foods. *LWT -Food Science and Technology*. 98: 1. 225-230
45. Yoshii, H., Soottitawat, A., Liu, X.D., Atarashi, T., Furuta, T., and Aishima, S. 2001. Flavor release from spray dried maltodextrin/gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2: 1. 55-61.
46. Zhang, W., Li, X., Yu, T., Yung, L., Rao, G., Li, D. and Mu, C. 2015. Preparation physicochemical characterization and release behavior of the inclusion complex of trans-anethol and β -cyclodextrin. *J. of Food Research International*. 74: 1.55-62
47. Zhu, G., Xiao, Z., Zhou, R., and Zhu, R. 2014. Study of production and pyrolysis characteristics of sweet orange flavor β -cyclodextrin inclusion complex. *J. of Carbohydrate Polymers*. 105: 25.75-80

Effect of freeze- and spray-drying on antioxidant and morphological properties of garlic extract microcapsules

S. Loghmanifar^{1*}, L. Roozbeh Nasiraei¹, H. Nouri², S. Jafarian¹

¹Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University, Noor Branch, Noor, Iran

²Department of Immunology, Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran

Received: 2019/12/26; Accepted: 2020/04/14

Abstract

Background and objectives: Epidemiological studies have been able to establish a link between food intake with plant origin and a range of health benefits. Sulfur-containing compounds in garlic family plants are one of the most important plant bioactive substances present in the diet and have health benefits. Allicin in garlic can be used as a dietary supplement to prevent many diseases. Moreover, it is a volatile, unstable and reactive compound that can easily stimulate the stomach mucus in humans. However, the unpleasant odor of these compounds affect consumers' decision regarding garlic consumption. Encapsulation is one of the ways to cover the aroma of garlic and preserve its effective compounds. In this study, garlic extract was encapsulated with β -cyclodextrin coating and porous starch by freeze- and spray-drying methods to protect its flavor and antioxidant properties.

Materials and methods: In this study, β -cyclodextrin porous starch were used as wall material and spray dehydrator and freeze dryers were used for micro-coating. The samples were evaluated for sensory evaluation, moisture content, antioxidant properties (DPPH free radical scavenging capacity, ferric reducing antioxidant power, and total phenol content), encapsulation efficiency, and morphology properties.

Results: The results showed that spray-dried samples retained the highest antioxidant properties and had the maximum encapsulation efficiency. The results of sensory evaluation also showed that this method had the best coverage in terms of flavor. Comparison of drying method on powder characteristics (shape, efficiency, antioxidant properties, and their moisture content) showed that the samples prepared by spray drying method had a spherical shape and lower moisture content than the obtained powder. Freeze drying (amorphous and asymmetric) had a higher microhardness efficiency and retained greater antioxidant properties.

Conclusion: The microcoting analysis of garlic extract by two spray and freeze drying methods using beta-cyclodextrin showed that its amount and efficiency depends not only on the concentration and content of the wall materials but on the microcoting process or methods. The specimens prepared by spray dryer had higher efficiency than the lyophilized powder and retained more antioxidant properties.

Keywords: Allicin, Encapsulation, Antioxidant, Spray drying, Freeze drying.

*Corresponding author: loghmanifar_s@yahoo.com