

## Application of spray dryer to encapsulate mustard essential oil using maltodextrin and gum Arabic

Seyed Amir Hossein Goli<sup>1\*</sup>, Sara Keramat<sup>2</sup>, Sabihe Soleimanian-Zad<sup>1</sup>,  
Reyhaneh Ghasemi Baghabrishami<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Email: amirgoli@iut.ac.ir

<sup>2</sup> Graduated Master student of Food Science and Technology, Department of Food Science, and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

<sup>3</sup> PhD student of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

### Article history:

Received: 2024/02/06

Revised: 2024/05/06

Accepted: 2024/05/08

### Keywords:

Mustard essential oil  
Microencapsulation  
Spray dryer  
Encapsulation efficiency  
Microcapsule

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Essential oils are natural volatile compounds derived from plant materials. The application of essential oils in food industry is limited due to their instability, strong flavor and decomposition against environmental and chemical conditions such as light, humidity, oxygen, etc. The utilization of essential oils as natural additives has been increased in recent years, researchers have proposed encapsulation as a way to increase the stability of essential oils in food systems. The purpose of this study was to prepare microencapsulated mustard essential oil with different ratio of wall materials (gum Arabic (GA): maltodextrin (MD)) using spray dryer.

**Materials and Methods:** The chemical composition of mustard essential oil was determined by the use of gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS). Then, in order to obtain an emulsion with desirable properties, 5 emulsion treatments containing different proportions of gum arabic and maltodextrin (20% w/v) were prepared (GA-MD: 100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100), afterward the droplet size, viscosity and stability of emulsions were determined. Prepared emulsions were introduced into spray dryer (inlet and outlet air temperatures of 150 and 68 degrees Celsius respectively and feed rate 2 ml/min) and the properties of the powders (moisture, wettability, density, encapsulation efficiency, loading capacity, color and microstructure) were investigated.

**Results:** Allyl isothiocyanate (39.88%) was the main known component of mustard essential oil. According to the obtained results, utilization of higher concentration of gum arabic directed to the formation of emulsions with smaller droplets, better stability and lower phase separation. The highest moisture content in powders was related to GA-MD100/0 treatment (6.72%) and the lowest was observed in GA-MD25/75 sample (3.17%). In general, reduction of the gum arabic ratio and enhancement of maltodextrin, increased the

---

---

density of microcapsules ( $p < 0.05$ ). Furthermore, due to the lighter color of maltodextrin the  $L^*$  value of the powders increased, while  $a^*$  and  $b^*$  values reduced ( $p < 0.05$ ). The GA-MD 25/75 sample exhibited the highest encapsulation efficiency (94.72%) and loading capacity (18.92%). The scanning electron microscopic (SEM) images indicated that all of the microcapsules were spherical, but in sample with 25% gum arabic and 75% maltodextrin no wrinkles, cracks or dents were observed compared to the other treatments. Finally, the treatment containing 25% gum arabic and 75% maltodextrin (GA-MD25/75) was selected as the optimal sample.

**Conclusion:** The results of the present study showed that different ratios of wall materials can influence on the properties of the prepared emulsions as well as the powders obtained from the spray drying process. Increasing the ratio of gum arabic as a wall material in mustard essential oil emulsions increased the viscosity and stability of emulsions and reduced the size of emulsion droplets. On the other hand, enhancement of maltodextrin ratio, could increase the microencapsulation efficiency and loading capacity, and the treatment containing 25% gum arabic and 75% maltodextrin was selected as the optimum treatment with desirable characteristics.

---

**Cite this article:** Goli, S.A.H., Keramat, S., Soleimani-Zad, S., Ghasemi Baghabrishami, R. 2024. Investigating the effects of modified Mastic Gum microcapsule containing Curcumin on MCF-7 cell line by MTT test. *Food Processing and Preservation Journal*, 15(4), 87-106.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/fppj.2024.22175.1800

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

### کاربرد خشک‌کن پاششی در ریزپوشانی اسانس خردل با استفاده از صمغ عربی و مالتودکسترین

سیدامیرحسین گلی<sup>۱\*</sup>، سارا کرامت<sup>۲</sup>، صبیحه سلیمانیان‌زاد<sup>۱</sup>، ریحانه قاسمی باغ ابریشمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استاد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، رایانامه: amirgoli@iut.ac.ir

<sup>۲</sup> فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری علوم و مهندسی صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی-پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> اسانس‌ها ترکیبات فرار طبیعی با منشا گیاهی هستند. کاربرد اسانس‌ها در صنایع غذایی به دلیل طعم قوی، ناپایداری و تجزیه در برابر شرایط فرآیند، محیط نگهداری و تغییرات شیمیایی مانند نور، رطوبت و اکسیژن محدودیت دارد. با توجه به اینکه استفاده از اسانس‌های طبیعی به عنوان افزودنی در سال‌های اخیر افزایش یافته است، محققان، ریزپوشانی را به عنوان راهی برای افزایش پایداری این ترکیبات در سیستم‌های غذایی پیشنهاد کرده‌اند. هدف از این مطالعه، تولید پودر ریزپوشینه اسانس خردل با بررسی اثر نسبت‌های مختلف ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره (صمغ عربی GA: مالتودکسترین MD) با استفاده از روش خشک‌کردن پاششی بود.
<b>واژه‌های کلیدی:</b> اسانس خردل ریزپوشانی خشک‌کن پاششی راندمان ریزپوشانی ریزپوشینه	<b>مواد و روش‌ها:</b> ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده اسانس خردل با استفاده از کروماتوگرافی گازی - طیف سنجی جرمی (GC-MS) شناسایی و تعیین مقدار شدند. سپس برای به دست آوردن امولسیون با ویژگی‌های مطلوب، ۵ تیمار امولسیونی حاوی نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (۰/۱۰۰، ۲۵/۷۵، ۵۰/۵۰، ۷۵/۲۵ و ۱۰۰/۰) در غلظت ثابت ۲۰ درصد (وزنی/حجمی) و با نسبت ۱ به ۴ (اسانس: دیواره) با اسانس خردل تهیه شد. ویژگی‌های امولسیون‌ها از جمله اندازه قطرات، ویسکوزیته و پایداری مورد بررسی قرار گرفت. سپس امولسیون توسط دستگاه خشک‌کن پاششی (دمای هوای ورودی ۱۵۰ درجه سلسیوس، دمای هوای خروجی ۶۸ درجه سلسیوس و نرخ تغذیه ۲ میلی‌لیتر بر دقیقه) خشک شد و خصوصیات پودر به دست آمده از جمله رطوبت، قابلیت جذب آب، دانسیته، ظرفیت بارگذاری، راندمان ریزپوشانی، رنگ و ریزساختار در تیمارهای مختلف تعیین شد.
	<b>یافته‌ها:</b> آلایل ایزوتیوسیانات ترکیب غالب شناسایی شده در اسانس خردل با مقدار ۳۹/۸۸ درصد بود. با توجه به نتایج به دست آمده، افزایش غلظت صمغ عربی در ترکیبات دیواره سبب تشکیل قطرات با اندازه کوچکتر و امولسیون با پایداری بهتر و جداسدن فازی کم‌تر شد. بیشترین میزان رطوبت در پودر مربوط به تیمار GA-MD ۱۰۰/۰ (۶/۷۲ درصد) و کمترین مقدار رطوبت در

نمونه GA-MD ۲۵/۷۵ (۳/۱۷ درصد) مشاهده شد. به طور کلی کاهش نسبت صمغ عربی و افزایش مالتودکستین، دانسیته ریزپوشینه را افزایش داد ( $p < 0/05$ ). علاوه بر این، به دلیل رنگ روشن تر مالتودکستین، مقدار پارامتر  $L^*$  پودرها افزایش یافت؛ در حالی که مقادیر  $a^*$  و  $b^*$  کاهش یافت ( $p < 0/05$ ). تیمار GA-MD ۲۵/۷۵ بیشترین راندمان ریزپوشانی (۹۴/۷۲ درصد) و ظرفیت بارگذاری (۱۸/۹۲ درصد) را نشان داد. طبق تصاویر میکروسکوپ الکترونی همه ریزپوشینه‌ها کروی شکل بودند، اما ریزپوشینه‌های به دست آمده از تیمار حاوی ۲۵ درصد صمغ عربی و ۷۵ درصد مالتودکستین، فاقد چروکیدگی، شکاف یا فرورفتگی بود، بدین ترتیب تیمار حاوی ۲۵ درصد صمغ عربی و ۷۵ درصد مالتودکستین به عنوان تیمار بهینه تعیین شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج مطالعه حاضر نشان داد که نسبت‌های مختلف ترکیبات دیواره بر خصوصیات امولسیون‌های تشکیل شده و همچنین پودر ریزپوشینه حاصل از فرایند خشک کردن پاششی تاثیرگذار است. افزایش نسبت صمغ عربی، ویسکوزیته و پایداری امولسیون‌ها را افزایش داد و سبب کاهش اندازه قطرات امولسیون شد. از طرفی با افزایش نسبت مالتودکستین راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری افزایش پیدا کرد و تیمار حاوی ۲۵ درصد صمغ عربی و ۷۵ درصد مالتودکستین به عنوان تیمار دارای ویژگی‌های مطلوب انتخاب شد.

استناد: گلی، سیدامیرحسین؛ کرامت، سارا؛ سلیمانیان‌زاد، صبیحه؛ قاسمی باغ ابریشمی، ریحانه. (۱۴۰۲). کاربرد خشک‌کن پاششی در ریزپوشانی اسانس خردل با استفاده از صمغ عربی و مالتودکستین. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۵(۴)، ۸۷-۱۰۶.

DOI: 10.22069/fppj.2024.22175.1800



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

یکی از عوامل مهم بروز بیماری و به خطر افتادن سلامت انسان تغذیه نامناسب و مصرف غذای ناسالم است. در همین راستا محققین صنعت غذا به دنبال جایگزین کردن ترکیبات شیمیایی و سنتزی با ترکیبات طبیعی در مواد غذایی هستند. به طور مثال عصاره‌ها و اسانس‌های گیاهی، با داشتن ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی طبیعی می‌توانند جایگزین مناسبی برای مواد شیمیایی و نگهدارنده‌های سنتزی باشند [۱]. اسانس خردل حاوی مقادیر قابل توجهی آلیل ایزوتیوسیانات است که این ترکیب در اثر هیدرولیز گلوکوزینولاتی به نام سینینگرین و به وسیله آنزیم میروزیناز ایجاد می‌شود که خصوصیات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی دارد و عامل طعم تند خردل است [۲]. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر استفاده از اسانس‌های گیاهی به عنوان افزودنی‌های طبیعی افزایش یافته است، محققین به دنبال راهی برای افزایش پایداری آن‌ها در سیستم‌های غذایی هستند، زیرا چالش اصلی استفاده از اسانس، فراریت زیاد، حلالیت کم در آب، بوی قوی و حساسیت به اکسیداسیون است که این مشکلات را می‌توان با ریزپوشانی مرتفع نمود. از دیگر مزایای ریزپوشانی می‌توان به رهايش کنترل شده<sup>۱</sup>، افزایش میزان زیست دسترسی<sup>۲</sup>، عدم واکنش ترکیب فعال مورد نظر با ترکیبات دیگر و پوشاندن<sup>۳</sup> بدطعمی اشاره کرد [۴].

یکی از رایج‌ترین روش‌های ریزپوشانی، خشک کردن پاششی است که روشی مقرون به صرفه بوده و امکان استفاده از آن در مقیاس صنعتی وجود دارد. در آن اجزاء فعال در محلول پلیمری پراکنده یا حل می‌شوند، سپس در تماس با هوای گرم هم‌جهت اتمیزه شده و به پودر تبدیل می‌شوند. زمان کوتاه و

تبخیر سریع آب دمای هسته را در محدوده ۴۰ درجه سلسیوس حفظ می‌کند و ترکیبات در دمای زیادی که طی فرایند استفاده می‌شود تخریب نمی‌شوند. اندازه ریزپوشینه‌های تشکیل شده ممکن است کوچک (۵۰-۱۰ میکرومتر) و یا با اندازه بزرگ‌تر (۳۰-۲ میلی‌متر) باشد. مایع اولیه که به دستگاه تزریق می‌شود می‌تواند محلول، امولسیون یا سوسپانسیون باشد و گاز مورد استفاده هوا است و به ندرت از گاز خنثی استفاده می‌شود. هدف از ریزپوشانی مواد فعال با استفاده از خشک‌کن پاششی در صنایع غذایی افزایش پایداری محصول، کاهش هزینه‌های انبارداری و حمل‌ونقل، جلوگیری از خطر تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی و در نهایت ایجاد محصول با خصوصیات ویژه نظیر حلالیت زیاد است [۵]. ارانا سانچز<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند ریزپوشانی اسانس پونه کوهی مکزیکی با بتاسیکلودکسترین و خشک‌کن پاششی علاوه بر حفظ خصوصیات ضد میکروبی اسانس با محافظت از ترکیبات مهم و اجزاء زیست فعال آن موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریزپوشینه‌ها شد [۶]. در مطالعه سلیمی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، به منظور افزایش پایداری لیکوپن در برابر شرایط محیطی، ریزپوشانی این ترکیب در دیواره‌ای از صمغ عربی و مالتودکسترین انجام شد. امولسیون‌های پایدار در مقادیر ۳۷/۰۲ درصد از مواد جامد، ۱۹/۵۲ درصد لیکوپن و سرعت ۱۸۰۰۰ دور در دقیقه هم‌وزن‌ایز به دست آمد [۷].

ترکیباتی که به عنوان دیواره برای ریزپوشانی مورد استفاده قرار می‌گیرند به طور عمده در گروه پلیمرهای طبیعی یا سنتزی قرار دارند. مواد پوششی مؤثر در غلظت‌های زیاد باید خصوصیات رئولوژیکی خوبی داشته باشند و به سهولت تولید شوند و برای

<sup>1</sup> Controlled release

<sup>2</sup> Bioaccessibility

<sup>3</sup> Covering

<sup>4</sup> Arana-Sánchez

<sup>5</sup> Salimi

کاربردهای غذایی مناسب باشند [۵]. انتخاب مواد پوشش دهنده دیواره برای فرایند خشک کردن پاششی به خصوصیات فیزیکوشیمیایی آنها نظیر حلالیت، وزن مولکولی، درجه بلورینگی، قابلیت پراکنش، ظرفیت تشکیل فیلم، خصوصیات امولسیفایری، بهبود کارایی ریزپوشانی و پایداری ریزپوشینه‌های به‌دست‌آمده بستگی دارد؛ به‌علاوه هزینه و قیمت تمام شده باید مورد بررسی قرار گیرد [۸]. رایج‌ترین ترکیبات مورد استفاده به‌عنوان پوشش دیواره، پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها می‌باشند [۹].

صمغ عربی با حلالیت زیاد و داشتن فعالیت سطحی از ترکیبات دیواره پرکاربرد به شمار می‌آید، اما استفاده از آن هزینه زیادی دارد. مالتودکسترین حاصل از تجزیه نشاسته یکی دیگر از ترکیبات است که استفاده از آن هزینه کمتری دارد اما عدم توانایی امولسیون‌کنندگی و توانایی کم در نگهداری ترکیبات فرار از معایب آن به شمار می‌رود [۹]. مطالعات نشان داده است که مخلوطی از صمغ عربی و مالتودکسترین در فرایند ریزپوشانی بسیار کارآمد و مؤثر می‌باشد و بدین ترتیب ترکیب پلیمر و صمغ موجب کاهش مصرف اجزای گران قیمت (صمغ عربی) خواهد شد. در پژوهش باجاک<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۲) اسانس میوه درخت سرو کوهی (*L. Juniperus communis*) با استفاده از خشک‌کن پاششی ریزپوشانی شد و تأثیر ترکیبات مختلف پوشش دهنده دیواره بر خصوصیات ریزپوشینه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج به‌دست‌آمده بیشترین راندمان ریزپوشانی ۷۰/۰۷ درصد و مربوط به ریزپوشینه‌های حاوی مالتودکسترین و صمغ عربی به نسبت ۱:۱ بود [۱۰]. کرار<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲) ریزپوشانی روغن دانه gurum به روش خشک کردن پاششی با

مالتودکسترین، صمغ عربی و ایزوله پروتئین آب پنیر را مورد بررسی قرار دادند. آنها بیان کردند که استفاده ترکیبی از صمغ عربی و مالتودکسترین بیشترین راندمان ریزپوشانی (۹۷/۳۸ درصد) را نشان داد؛ علاوه بر این، ترکیب صمغ عربی و مالتودکسترین توانست به خوبی از ترکیبات فعال، در برابر اکسیداسیون محافظت کند [۱۱]. با توجه به این که نوع و غلظت ترکیبات دیواره می‌تواند بر خصوصیات پودر ریزپوشینه‌شده تأثیر بگذارد، در این مطالعه تلاش شد تا اثر نسبت‌های مختلف مالتودکسترین و صمغ عربی (به‌عنوان ترکیبات دیواره) بر کیفیت و خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر ریزپوشینه اسانس خردل تهیه شده به روش خشک کن پاششی مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

**مواد:** صمغ عربی و مالتودکسترین (DE۲۰<sup>۳</sup>) از شرکت زیست فراوری (کرج، ایران)، اسانس خردل از شرکت عصاره طبیعت (تهران، ایران) و سایر مواد شیمیایی دارای درجه آزمایشگاهی از شرکت مرک (دارمشتات<sup>۴</sup>، آلمان) خریداری شد.

**شناسایی ترکیبات موجود در اسانس خردل:** به‌منظور تعیین ترکیبات شیمیایی اسانس خردل از دستگاه کروماتوگرافی گازی-جرمی (Agilent مدل C5975، آمریکا) مجهز به ستون HP-5MS و آشکارساز جرمی استفاده شد. گاز حامل مورد استفاده در این پژوهش هلیوم بود که سرعت آن ۱ میلی‌لیتر بر دقیقه تنظیم شد. دمای اولیه ستون ابتدا به مدت ۴ دقیقه در ۶۰ درجه سلسیوس حفظ شد، سپس با سرعت ۴ درجه سلسیوس بر دقیقه تا ۲۶۰ درجه سلسیوس افزایش یافت و دمای قسمت تزریق کننده و آشکارساز

<sup>3</sup> Dextrose Equivalent (DE)

<sup>4</sup> Darmstadt

<sup>1</sup> Bajac

<sup>2</sup> Karrar

به ترتیب ۲۹۰ و ۳۰۰ درجه سلسیوس تنظیم گردید. ستون موئینه با طول ۳۰ متر، قطر خارجی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر مورد استفاده قرار گرفت و برای مشاهده نتایج از سیستم یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت با دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس استفاده شد.

#### ریزپوشانی اسانس روغنی خردل

تهیه امولسیون و خشک کردن پاششی: در این پژوهش از صمغ عربی و مالتودکسترین به عنوان ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره برای ریزپوشانی اسانس استفاده شد و فرایند آب‌گیری و ریزپوشانی اسانس خردل به وسیله خشک‌کن پاششی صورت گرفت. تهیه امولسیون مطابق با روش دوبروس فرناندز و همکاران (۲۰۱۴) با کمی تغییرات انجام شد [۱۲]. بدین منظور

۵ تیمار از امولسیون‌های حاوی مقادیر متفاوت مالتودکسترین و صمغ عربی (در مجموع ۲۰ درصد وزنی-حجمی) به همراه آب مقطر و اسانس تهیه شد (جدول ۱). به این صورت که مقادیر موردنظر از مالتودکسترین و صمغ عربی در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر (دمای ۵۰ درجه سلسیوس) حل شد و به مدت ۲ ساعت زمان داده شد تا هیدراته شود. پس از خنک شدن در دمای اتاق، اسانس خردل به نسبت ۴:۱ (اسانس: مواد دیواره) کل ترکیبات دیواره به تدریج اضافه گردید و با استفاده از دستگاه هموژنایزر (JKAT25 digital, آلمان) با سرعت ۱۵۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه تا تشکیل یک امولسیون همگن و یکنواخت مخلوط شد.

جدول ۱- نسبت‌های مختلف صمغ عربی (GA) و مالتودکسترین (MD) برای تهیه امولسیون حاوی اسانس خردل

Table 1- Different ratio of gum arabic (GA) and maltodextrin (MD) for preparation of emulsions containing mustard essential oil

تیمار Treatment	صمغ عربی (درصد) Gum Arabic (%)	مالتودکسترین (درصد) Maltodextrin (%)
GA-MD 100/0	100	0
GA-MD 75/25	75	25
GA-MD 50/50	50	50
GA-MD 25/75	25	75
GA-MD 0/100	0	100

#### تعیین خصوصیات امولسیون

اندازه قطرات امولسیون: یکی از خصوصیات مهم امولسیون‌ها که بر ویژگی‌های رئولوژیکی و به دنبال آن پایداری این سیستم‌ها تأثیرگذار است توزیع اندازه قطرات می‌باشد. اندازه‌گیری قطر قطرات، توسط میکروسکوپ نوری (مدل Olympus CH2، ژاپن) و با استفاده از میکرومتر چشمی با بزرگنمایی ۴۰ انجام شد. بدین منظور پس از تهیه امولسیون، قطر ۵۰ قطره به‌طور تصادفی اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها گزارش شد.

ویسکوزیته امولسیون: ویسکوزیته امولسیون‌های تهیه شده در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و سرعت چرخشی

۴۰ دور بر دقیقه با دستگاه ویسکومتر (Anton Paar، مدل DV-2PL، آمریکا) و اسپیندل شماره ۲۱ اندازه‌گیری شد [۱۳].

پایداری امولسیون: ۲۵ میلی‌لیتر امولسیون تازه تهیه شده درون فالكون مدرج ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق بدون حرکت نگهداری شد. پایداری امولسیون با اندازه‌گیری فاز جدا شده طی ۲۴ ساعت مطابق با رابطه (۱) بررسی گردید [۱۴].

(۱)  $100 \times$  (ارتفاع کل امولسیون / ارتفاع فاز جدا شده) = درصد پایداری امولسیون

خشک کردن امولسیون و بررسی خصوصیات پودر: امولسیون‌های تهیه شده به دستگاه خشک‌کن پاششی (درساتک مدل DSD-02، ایران) با نازل به قطر ۵ میلی‌متر تزریق شدند. دمای هوای ورودی خشک‌کن پاششی ۱۵۰ درجه سلسیوس و دمای هوای خروجی ۶۸ درجه سلسیوس تنظیم شد. امولسیون با نرخ تغذیه ۲ میلی‌لیتر بر دقیقه وارد دستگاه شد. در انتهای فرایند پودر خشک شده از سیکلون جمع‌آوری و در پاکت‌های زیپ کیپ و در یخچال نگهداری شد. خصوصیات پودر (میزان رطوبت، قابلیت جذب آب، دانسیته، راندمان ریزپوشانی، ظرفیت بارگذاری، رنگ و ریزساختار) مورد بررسی قرار گرفت.

**میزان رطوبت:** ابتدا ظرفی از جنس آلومینیوم در آن (Heraeus مدل K5042T، آلمان) ۱۰۵ درجه سلسیوس به وزن ثابت رسید. سپس مقدار ۳-۵ گرم از پودر ریزپوشانی شده در ظروف توزین شد و به مدت ۳ الی ۵ ساعت در آن ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از رسیدن وزن نمونه به مقدار ثابت، میزان رطوبت با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید [۱۵].

(۲)  $100 \times \text{وزن نمونه} / (\text{وزن ظرف حاوی نمونه پس از خشک شدن} - \text{وزن ظرف خالی}) = \text{درصد رطوبت}$   
**قابلیت جذب آب (نم‌پذیری):** مقدار یک گرم از پودر ریزپوشینه‌دار شده روی سطح ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر بدون تلاطم پاشیده شد. زمان لازم برای ناپدید شدن پودر از سطح آب، بدون هم زدن به عنوان زمان نم‌پذیری گزارش شد [۱۲].

**دانسیته:** پودر ریزپوشینه‌دار شده به آرامی درون استوانه مدرج ۲۰ میلی‌لیتری ریخته شد و با استفاده از ترازوی دقیق وزن شد. سپس با استفاده از ارتباط بین جرم و حجم، چگالی پودرها محاسبه شد [۱۲].

**راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری:** اندازه‌گیری راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری هر یک از پودرهای تهیه شده به روش شهیدی نوقایی و

ملاوایسی<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) با اندکی تغییرات انجام شد [۹]. بدین منظور یک گرم از پودر ریزپوشینه در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای ۴۵ درجه سلسیوس حل گردید و به مدت ۵ دقیقه هم زده شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه درون حمام اولتراسونیک قرار گرفت. در ادامه پس از افزودن ۱۰ میلی‌لیتر حلال هگزان و مخلوط کردن، به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۱۵۳۰g سانتریفیوژ شد و لایه فوقانی به بالن حجمی ۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده شد. مراحل ۴ مرتبه تکرار شد تا از استخراج اسانس به صورت کامل اطمینان حاصل شود. سپس جذب هر یک از نمونه‌ها در طول موج ۲۰۶ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Hanon، مدل i3، چین) قرائت شد. منحنی استاندارد اسانس خردل با استفاده از غلظت‌های مختلف اسانس در حلال هگزان (۸۰، ۱۶۰، ۲۴۰، ۳۲۰، ۴۰۰ پی پی ام) ترسیم شد و معادله مربوطه به دست آمد ( $R^2 = 0.975$ ,  $y = 0.2526x + 1.765$ ). راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری بر اساس رابطه (۳) و (۴) محاسبه گردید.

(۳)

$100 \times (\text{میزان اسانس اولیه} / \text{میزان اسانس استخراج شده}) = (\text{درصد}) \text{راندمان ریزپوشانی}$

(۴)

$100 \times (\text{وزن مواد دیواره/میزان اسانس استخراج شده}) = (\text{درصد}) \text{ظرفیت بارگذاری}$

**رنگ:** رنگ نمونه‌های پودر با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Nippon-Denshoku مدل ZE6000، ژاپن) و بر اساس پارامترهای رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  انجام شد. پارامترهای ذکر شده بر اساس منبع نوری استاندارد D65 و درجه تابش ۱۰ تعیین شدند [۱۶].

<sup>1</sup> Shahidi Noghabi and Molaveisi



جدول ۲- ترکیبات شیمیایی مهم در اسانس خردل

Table 2- Main components of mustard essential oil

نام ترکیب Component	درصد Percentage
آلیل ایزوتیوسیانات Allyl isothiocyanate	39.88
بنزونیتریل Benzonitrile	5.65
دی آلیل-۳-سولفید Diallyl-3 sulfide	5.5
۳-بوتنیل ایزوتیوسیانات 3-Butenyl isothiocyanate	4.9
۲-فنیل اتیل ایزوتیوسیانات 2-Phenyl-isothiocyanate	3.4
۵-متوکسی-۱-بنزوپیرن 5-Methoxy-1-benzopyran	3.79
۲-فنیل اتیل سیانید 2-Phenylethyl cyanide	3.5
۱،۲-دی سیانو-۱-اتن 1,2-Dicyano-1-ethene	1.33

تفاوت معنی‌دار<sup>۴</sup> (LSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

### نتایج و بحث

آنالیز اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی: دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی جهت شناسایی و تعیین مقادیر ترکیبات اسانس خردل استفاده شد. طبق جدول ۲ ترکیب غالب شناسایی شده در اسانس خردل آلیل ایزوتیوسیانات بود که مقدار آن ۳۹/۸۸ درصد تعیین شد. طبق گزارش یو<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۳) آلیل ایزوتیوسیانات (۵۴/۸ درصد) با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی به‌عنوان اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس خردل شناسایی شد [۱۷].

ریزساختار پودر: برای بررسی مورفولوژی و کیفیت ساختاری کپسول‌های تشکیل‌شده، از نمونه‌های پودری به‌وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۱</sup> و با بزرگنمایی ۲۰ عکس‌برداری شد. به‌منظور ایجاد هدایت الکتریکی در زمان عکس‌برداری و همچنین محافظت در برابر حرارت بالای تشعشع، الکترون‌ها توسط دستگاه اسپاتر<sup>۲</sup> تحت گاز آرگون با طلا پوشش‌دار شدند [۱۴].

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری به‌منظور بررسی تاثیر تیمارهای مورد آزمون (۵ تیمار) روی خصوصیات کیفی (اندازه قطرات، ویسکوزیته و پایداری امولسیون‌ها - رطوبت، جذب آب، دانسیته، راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری پودرهای ریزپوشینه) در قالب طرح کاملاً تصادفی<sup>۳</sup> (CRD) انجام شد. آزمون تجزیه واریانس و میانگین داده‌ها به روش حداقل

<sup>۴</sup> Least Significant Difference (LSD)

<sup>۵</sup> Yu

<sup>۱</sup> Scanning Electron Microscope (SEM)

<sup>۲</sup> Sputter coater

<sup>۳</sup> Completely Randomized Design (CRD)

ویسکوزیته (۳۱/۵۰ میلی پاسکال ثانیه) مربوط به امولسیون GA-MD۲۵/۷۵ و بیشترین ویسکوزیته (۱۶۵ میلی پاسکال ثانیه) مربوط به نمونه GA-۱۰۰/۰ MD بود ( $p < ۰/۰۵$ ). همان‌طور که مشخص است با افزایش نسبت صمغ عربی به دلیل داشتن وزن مولکولی بیشتر و ساختار منشعب با یک زنجیره بلند، ویسکوزیته امولسیون افزایش یافت [۸]. ویسکوزیته زیاد امولسیون در فرایند ریزپوشانی موجب افزایش ویسکوزیته خوراک ورودی در خشک‌کن پاششی و در نتیجه اختلال در فرایند اتمیزه کردن می‌شود که در نهایت باعث تشکیل پودر با ذرات بزرگ‌تر و کاهش سرعت خشک‌کردن می‌شود [۱۲]. طبق گزارش رامیرز<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۲) ویسکوزیته امولسیون تحت تاثیر اندازه قطرات و توزیع آن‌ها قرار می‌گیرد؛ به طوری که به دنبال کاهش اندازه قطرات افزایش ویسکوزیته مشاهده می‌شود [۱۹].

**پایداری امولسیون‌ها:** پایداری امولسیون‌های تشکیل‌شده بر کیفیت ریزپوشینه‌ها و عملکرد آن‌ها مؤثر است؛ بنابراین پایداری امولسیون پیش از مرحله خشک‌کردن و در ادامه روند ریزپوشانی اهمیت زیادی دارد. طبق نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳ بیشترین پایداری بعد از گذشت ۲۴ ساعت، ۹۷ درصد و مربوط به نمونه GA-MD۱۰۰/۰ بود و کمترین پایداری ۱۳ درصد و مربوط به تیمار GA-MD ۲۵/۷۵ بود. در دو تیمار GA-MD ۷۵/۲۵ و GA-MD ۵۰/۵۰ به ترتیب پایداری امولسیون ۷۲ درصد و ۲۰ درصد به دست آمد؛ بنابراین با افزایش صمغ عربی در مواد دیواره پایداری بیشتر و فاز جدا شده کمتری مشاهده شد. صمغ عربی از واحدهای آرابینوگالاکتان<sup>۲</sup> (آب دوست) ساخته شده است که به یک زنجیره پلی پیتیدی (آب‌گریز) پیوند می‌خورد. زنجیره پلی پیتیدی به سطح قطرات متصل

بررسی نتایج خصوصیات امولسیون: پس از تهیه ۵ تیمار از امولسیون‌های حاوی اسانس خردل و نسبت‌های متفاوت صمغ عربی و مالتودکسترین، نمونه‌ای که در تهیه آن تنها از مالتودکسترین استفاده شده بود به دلیل کم بودن ظرفیت امولسیفایری مالتودکسترین سریعاً دو فاز شده و امولسیون تشکیل نشد؛ بنابراین این تیمار حذف گردید و سایر آنالیزها بر روی آن انجام نگرفت.

**اندازه قطرات امولسیون:** در بررسی اندازه قطرات امولسیون نسبت ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره مورد استفاده (صمغ عربی: مالتودکسترین) تاثیر معنی‌داری داشت ( $p < ۰/۰۵$ ). طبق جدول ۳ کوچک‌ترین قطرات (۱۰/۲ میکرومتر) در تیمار حاوی ۱۰۰ درصد صمغ عربی (GA-MD۱۰۰/۰) و بزرگ‌ترین قطرات (۳۱/۰۹ میکرومتر) در تیمار حاوی ۲۵ درصد صمغ عربی و ۷۵ درصد مالتودکسترین (GA-MD۲۵/۷۵) تشکیل شد که می‌تواند به علت افزایش نسبت صمغ عربی و کاهش میزان مالتودکسترین باشد. توانایی امولسیون‌کنندگی بیشتر صمغ عربی می‌تواند به ایجاد قطرات کوچک‌تر کمک کند. از آنجایی که مالتودکسترین یک هموفیلی ساکارید فاقد شاخه‌های پیتیدی است، فعالیت سطحی مناسبی در سطح بین اسانس و آب ندارد و قادر به پیوند با قطرات اسانس موجود در امولسیون نیست و در نتیجه ذرات بزرگتری تولید می‌کند [۹]. اندازه قطرات امولسیون بر مورفولوژی ذرات حاصل از خشک کردن پاششی تاثیرگذار است، به طوری که قطرات کوچک‌تر نرخ انتقال جرم و حرارت بیشتری نسبت به ذرات اتمیزه شده بزرگ‌تر دارند و در نتیجه پودر ریزپوشینه‌های به‌دست آمده فرورفتگی و چروکیدگی کمتری دارند [۱۸].

**ویسکوزیته:** ویسکوزیته امولسیون‌های تهیه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق جدول، کم‌ترین

<sup>1</sup> Ramírez

<sup>2</sup> Arabinogalactan

و امولسیون پایدارتری تولید می‌شود، بدین ترتیب نمونه حاوی ۱۰۰ درصد صمغ عربی بیشترین ویسکوزیته و بیشترین پایداری را داشت. قابل ذکر است که تمامی امولسیون‌های تهیه شده در ساعات اولیه پایدار بود و جداسازی فاز مشاهده نشد؛ بنابراین هر یک از امولسیون‌ها بلافاصله بعد از آماده‌سازی به خشک‌کن پاششی منتقل شدند.

می‌شود در حالی که واحدهای آرایینوگالاکتان به درون محلول آبی گسترش می‌یابد. به طور کلی صمغ عربی با تشکیل یک لایه سطحی و ایجاد دافعه فضایی و الکترواستاتیک از ناپایداری قطرات جلوگیری می‌کند [۸]. علاوه بر این پایداری امولسیون به ویسکوزیته آن مرتبط است. به طوری که با افزایش ویسکوزیته امولسیون، حرکت قطرات محدود می‌گردد

جدول ۳- خصوصیات امولسیون‌های تولیدی  
Table 3. Properties of produced emulsions

تیمار Treatments	پارامتر مورد بررسی		
	پایداری (درصد) Stability (%)	ویسکوزیته (میلی پاسکال ثانیه) Viscosity (mPa.s)	اندازه قطرات (میکرومتر) Droplet size (µm)
GA-MD 100/0	97.00±1.41 <sup>A</sup>	165.00±0.00 <sup>A</sup>	10.20 ±0.28 <sup>D</sup>
GA-MD 75/25	72.00±2.83 <sup>B</sup>	107.00±2.83 <sup>B</sup>	11.17±0.19 <sup>C</sup>
GA-MD 50/50	20.00±0.00 <sup>C</sup>	49.50±2.12 <sup>C</sup>	16.04±0.05 <sup>B</sup>
GA-MD 25/75	13.00±1.41 <sup>D</sup>	31.50±2.12 <sup>D</sup>	31.09±0.01 <sup>A</sup>

- اختصارات: (GA): صمغ عربی، (MD): مالتودکسترین

- اعداد، میانگین ± انحراف معیار می‌باشند.

- در هر ستون حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بین میانگین تیمارها است.

Abbreviations: (GA): Gum Arabic, (MD): Maltodextrin

Values are mean± standard deviation

Capital letters in each column indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) among treatments mean.

(GA/MD: ۱/۱۱) و طبق گزارش آن‌ها هیچ‌گونه جدا شدن سرم مشاهده نشد [۱۴].

**خصوصیات پودرهای ریزپوشینه اسانس روغنی خردل**

**محتوی رطوبت:** طبق جدول ۴، مقادیر متفاوت ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره تأثیر معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بر میزان رطوبت ریزپوشینه‌ها داشت. بیشترین میزان رطوبت مربوط به تیمار GA-MD ۱۰۰/۰ (۶۷/۲ درصد) و کمترین میزان رطوبت (۳/۱۷ درصد) مربوط به تیمار GA-MD ۲۵/۷۵ بود. رطوبت یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت ریزپوشینه‌های به‌دست آمده است و با فعالیت آبی، جریان پذیری، چسبندگی، راندمان خشک کردن، اکسیداسیون ترکیبات زیست فعال و

نتایج به دست آمده با مطالعات انجام شده توسط تئودورو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد [۲۰]. آن‌ها بیان کردند که صمغ عربی با کاهش کشش سطحی و جلوگیری از به هم چسبیدن قطرات به‌عنوان یک امولسیفایر عمل می‌کند و موجب پایداری امولسیون می‌شود که این خاصیت با بخش پروتئینی موجود در ساختار صمغ عربی مرتبط است. باسیگیت<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در تهیه امولسیون از مقادیر بیشتر مالتودکسترین نسبت به صمغ عربی به‌عنوان ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره در ریزپوشانی روغن هسته آلبالو با استفاده از خشک‌کن پاششی استفاده کردند

<sup>1</sup> Teodoro

<sup>2</sup> Başyigit

رپاجیک<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۴)، رطوبت پودرهای ریزپوشینه اسانس رازیانه که به روش خشک کردن پاششی تهیه شده بود را در محدوده ۶/۹۱-۱/۹۳٪ گزارش کردند. طبق نتایج آن‌ها میزان رطوبت تحت تاثیر نوع ترکیبات دیواره قرار گرفت به طوری که پودرهای تهیه شده با صمغ عربی و مالتودکسترین کمترین میزان رطوبت (میانگین ۳/۷۶ درصد) و پودرهای حاصل از صمغ عربی و بتاسیکلودکسترین بیشترین میزان رطوبت (میانگین ۴/۸۵ درصد) را داشتند. آن‌ها بیان کردند که مالتودکسترین به دلیل وزن مولکولی متوسط، قابلیت خوبی در تشکیل غشاء دارد که کاربرد آن را در ریزپوشانی برای افزایش زمان نگهداری ترکیب ریزپوشینه شده افزایش می‌دهد، در حالی که صمغ عربی و بتاسیکلودکسترین ممکن است از انتشار مولکولی در طول فرآیند خشک کردن پاششی ممانعت به عمل آورند [۲۳].

**خاصیت جذب آب (نم پذیری):** مطابق جدول ۴، نم‌پذیری نمونه‌ها تحت تاثیر نسبت ترکیبات دیواره قرار گرفت ( $p < 0/05$ ). زمان موردنیاز برای جذب آب و خیس شدن کامل پودرها در دامنه ۲۳۸۰-۲۲۰ ثانیه بود. کوتاه‌ترین زمان جذب آب (۲۲۰ ثانیه) مربوط به تیمار GA-MD ۲۵/۷۵ و طولانی‌ترین زمان (۲۳۸۰ ثانیه) مربوط به پودرهای ریزپوشینه با ۱۰۰ درصد صمغ عربی (GA-MD ۱۰۰/۰) بود. از طرفی پودرهایی که رطوبت کمتری داشتند میزان جذب آب سریع‌تری نشان دادند که می‌تواند به این دلیل باشد که محتوای رطوبت کم‌تر پودرها به جذب آب در زمان کوتاه‌تر کمک کرده است. خاصیت جذب آب یا قابلیت نم‌پذیری یکی از مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی مربوط به بازسازی پودر تشکیل شده است که به طور مستقیم تحت تاثیر تعاملات مولکولی بین دو فاز قرار می‌گیرد [۱۲]. این ویژگی رابطه معکوس با اندازه ذرات دارد،

رشد میکروبی در ارتباط است. علاوه بر این، رطوبت زیاد ریزپوشینه بر پایداری طی انبارداری تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین توصیه می‌شود مقدار آن از ۵ درصد تجاوز نکند [۲۱]. تغییرات در محتوای رطوبت با ویسکوزیته امولسیون و اندازه ذراتی که طی اتمیزه شدن تشکیل می‌شود، مرتبط است. با افزایش میزان صمغ عربی و در نتیجه افزایش ویسکوزیته، به دلیل چسبندگی قطرات هنگام پاشش، تبخیر آب به خوبی صورت نمی‌گیرد. قطرات کوچک‌تر سطح بزرگ‌تری دارند و تبخیر آب را تسهیل می‌کنند؛ اما تراکم ذرات و افزایش ویسکوزیته امولسیون موجب کاهش انتشار آب هنگام خشک کردن و تشکیل پودر با رطوبت زیاد می‌گردد [۲۰]. نتایج به دست آمده با مطالعه انجام شده توسط تئودورو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. در این مطالعه بیشترین میزان رطوبت (۲/۳ درصد) مربوط به پودر حاوی ۱۰۰ درصد صمغ عربی بود، با کاهش نسبت صمغ عربی در سایر تیمارها رطوبت کاهش یافت به طوری که در نسبت ۲۵:۷۵ صمغ عربی و مالتودکسترین میزان رطوبت به ۱/۶۹ درصد رسید [۲۰]. در مطالعه ای دیگر اسمعیلی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲) عصاره آبی ریشه گیاه بابا آدم (*Arctium lappa*) را با استفاده از صمغ عربی و مالتودکسترین و دو روش خشک کردن پاششی و انجمادی ریزپوشانی کردند. طبق نتایج آن‌ها در هر دو روش ریزپوشانی عصاره، کپسول‌های تهیه شده با صمغ عربی دارای میزان رطوبت بالاتری نسبت به کپسول‌های حاوی مالتودکسترین بودند. طبق گزارش آن‌ها صمغ عربی که یک هتروپلی ساکارید شاخه‌دار است دارای گروه‌های آبدوست بوده و با اتصال به مولکول‌های آب از خروج آن‌ها جلوگیری می‌کند [۲۲].

<sup>1</sup> Teodoro

<sup>2</sup> Esmaeili

<sup>3</sup> Repajić

هوا بین ذرات انباشته می‌شود که احتمال اکسید شدن محصول را افزایش داده و پایداری آن را حین نگهداری کاهش می‌دهد [۲۳].

اخوان مهدوی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که ریزپوشینه‌های حاوی آنتوسیانین تهیه شده با صمغ عربی و مالتودکسترین (۰/۴۳۱ گرم بر میلی‌لیتر) در مقایسه با ریزپوشینه‌های تهیه شده با مالتودکسترین (۰/۳۹۵ گرم بر میلی‌لیتر) دانسیته بیشتری داشتند [۲۶]. در مطالعه رپاجیک<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۴) دانسیته حجمی پودر ریزپوشینه اسانس رازیانه که به روش خشک کردن پاششی تهیه شده بود تحت تاثیر نوع ترکیبات دیواره قرار گرفت. بیشترین مقدار دانسیته برای پودرهای تهیه شده با صمغ عربی و بتاسیکلودکسترین (مقدار متوسط ۰/۴۸ گرم در میلی‌لیتر) تعیین شد، در حالی که پودرهای حاوی مالتودکسترین دارای دانسیته کمتری بودند (مالتودکسترین: بتاسیکلودکسترین، ۰/۳۵ گرم بر میلی‌لیتر، صمغ عربی: مالتودکسترین مقدار متوسط ۰/۳۹ گرم در میلی‌لیتر) [۲۳].

**راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری:** طبق نتایج به‌دست‌آمده (جدول ۴)، راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری تحت تاثیر نسبت ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره قرار گرفت ( $p < 0/05$ ). بیشترین راندمان ۹۴/۷۲ درصد و ظرفیت بارگذاری ۱۸/۹۲ درصد مربوط به تیمار GA-MD۲۵/۷۵ حاوی ۷۵ درصد مالتودکسترین در ترکیبات دیواره بود. در تیمار GA-MD ۵۰/۵۰ حاوی مقادیر مساوی صمغ عربی و مالتودکسترین، راندمان ۸۹/۲۶ درصد و ظرفیت بارگذاری ۱۷/۷۸ درصد تعیین شد. دو تیمار GA-MD ۷۵/۲۵ و GA-MD ۱۰۰/۰ به ترتیب راندمان ۴۱/۲۸ درصد و ۳۳/۷۲ درصد و ظرفیت بارگذاری ۸/۲۴

به طوری که فضای بیشتر بین ذرات بزرگتر اجازه نفوذ آب را می‌دهد از سوی دیگر، ذرات کوچک‌تر تخلخل کمتری دارند و نفوذ مایع را دشوارتر می‌کنند، که منجر به خواص بازسازی ضعیف می‌شود [۲۴].

در مطالعه‌ای سرابندی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷) زمان جذب آب پودر کنسانتره آب آلبالوی تهیه شده با خشک‌کن پاششی را مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج آن‌ها پودر تهیه شده با مالتودکسترین سریع‌ترین زمان جذب آب (۲/۰۷ ثانیه) را در مقایسه با تیمار حاوی صمغ عربی (۶/۳۱ ثانیه) و ترکیب صمغ عربی و مالتودکسترین (۲/۹۱-۵/۳۵ ثانیه) نشان داد [۲۵].

**دانسیته حجمی:** طبق جدول ۴، محدوده دانسیته حجمی نمونه‌ها در این پژوهش بین ۰/۳۷ تا ۰/۴۷ گرم بر میلی‌لیتر قرار گرفت. بیشترین دانسیته مربوط به تیمار GA-MD۲۵/۷۵ (۰/۴۷ گرم بر میلی‌لیتر) با بیشترین میزان مالتودکسترین در ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره بود که بیانگر خصوصیات مطلوب ریزپوشینه‌ها شامل اندازه ذرات کوچک، یکنواخت و صاف می‌باشد. در حالی که در تیمار GA-MD۱۰۰/۰ کمترین دانسیته (۰/۳۷ گرم بر میلی‌لیتر) به دست آمد که علت آن را می‌توان به نسبت زیاد صمغ عربی در این تیمار و افزایش ویسکوزیته امولسیون (خوراک ورودی) با حذف مالتودکسترین نسبت داد. به‌طور کلی با کاهش صمغ عربی و افزایش مالتودکسترین دانسیته ریزپوشینه‌ها افزایش یافت. دانسیته به اندازه، شکل، ویژگی‌های سطحی و ذرات پودر بستگی دارد و از لحاظ حمل‌ونقل، انبارداری و بسته‌بندی حائز اهمیت است. به طوری که پودرهای صاف و یکنواخت، دانسیته حجمی بیشتر و قابلیت نگهداری در فضای کمتری را دارند [۲۵]. بطور کلی دانسیته حجمی کم برای مواد پودری نامطلوب است، زیرا نه تنها منجر به افزایش هزینه بسته‌بندی می‌شود، بلکه مقدار بیشتری

<sup>2</sup> Akhavan Mahdavi

<sup>3</sup> Repajić

<sup>1</sup> Sarabandi

درصد و ۶/۷۴ درصد داشتند. راندمان ریزپوشانی نشان دهنده میزان حفظ ترکیب فعال (مواد هسته) در ماده پوششی (دیواره) است و به عنوان فاکتوری برای مشخص کردن کیفیت فرایند به خصوص هنگام استفاده از روش خشک کردن پاششی می باشد [۱۱]. هر چه میزان مواد هسته درون کپسول بیشتر باشد به این معنی است که ترکیب فعال کمتری طی فرایند تولید از بین رفته است. ظرفیت بارگذاری نیز نشان دهنده نسبت ترکیب فعال ریزپوشینه دار شده به میزان ماده خشک مورد استفاده است. طبق نتایج با کاهش نسبت مالتودکسترین و افزایش صمغ عربی این پارامترها کاهش یافته و در نسبت های کم مالتودکسترین و یا دیواره فاقد مالتودکسترین راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری بیش از ۵۰ درصد کاهش یافت. نتایج بیانگر این است که انتخاب ترکیبات دیواره مناسب در افزایش راندمان ریزپوشانی و پایداری محصول نهایی بسیار مهم است. در مطالعه انجام شده توسط تئودورو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) از صمغ عربی و مالتودکسترین جهت تهیه ریزپوشینه های حاوی اسانس میخک هندی استفاده شد. ریزپوشینه های تولید شده با ۱۰۰ درصد صمغ عربی دارای شکاف و حفره بود که موجب کاهش نگهداری و در نتیجه از دست رفتن اسانس میخک شد. در حالی که استفاده از صمغ عربی همراه با مالتودکسترین به نسبت ۷۵:۲۵ در فرمولاسیون پودرها موجب افزایش راندمان از ۵۸ درصد به ۸۲ درصد گردید [۲۰]. آلوز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴) ریزپوشینه های اسانس میوه های *Pterodon emarginatus* را با استفاده از صمغ عربی و مالتودکسترین به عنوان ترکیبات دیواره تهیه کردند. طبق نتایج به دست آمده بیشترین راندمان ریزپوشانی ۹۸/۶۳ درصد و مربوط

به نسبت های ۱:۳:۳/۶ به ترتیب از اسانس، صمغ عربی و مالتودکسترین بود [۱۸]. لائورنتی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۳) استفاده ترکیبی از مالتودکسترین و صمغ عربی و همچنین مالتودکسترین به صورت مجزا به عنوان ترکیبات دیواره برای ریزپوشانی عصاره های (فلفل صورتی<sup>۴</sup> و بره موم سبز<sup>۵</sup>) حاوی ترکیبات زیست فعال مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که ترکیب صمغ عربی و مالتودکسترین راندمان ریزپوشانی بیشتری در هر دو روش خشک کردن در مقایسه با مالتودکسترین به تنهایی نشان داد. به طوری که برای روش خشک کردن پاششی راندمان از ۸۹/۴۵ به ۹۱/۰۷ درصد و برای خشک کردن انجمادی از ۹۳/۲۸ به ۹۸/۳۳ افزایش یافت [۲۷].

**رنگ:** مطابق جدول ۵، تغییرات شاخص های رنگی پودرها تحت تأثیر غلظت های مختلف صمغ عربی و مالتودکسترین قرار گرفت ( $p < 0/05$ ). طبق نتایج با کاهش نسبت صمغ عربی و افزایش مالتودکسترین به علت روشن تر بودن رنگ مالتودکسترین، بر مقدار عددی پارامتر  $L^*$  افزوده و از مقدار پارامترهای  $a^*$  و  $b^*$  کاسته شد. پارامترهای رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  به ترتیب دامنه روشنایی (سیاه تا سفید)، سبز تا قرمز و آبی تا زرد را نشان می دهند. مطابق با مطالعه سرابندی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۷) پودر کنسانتره آب آلبالوی حاوی مالتودکسترین نسبت به پودر تولید شده با صمغ عربی روشنایی بیشتری داشت. همچنین افزایش نسبت صمغ عربی در پوشش دیواره مقدار پارامتر  $a^*$  کاهش یافته و مقدار  $b^*$  افزایش پیدا کرد [۲۵]. در مطالعه ای دیگر توسط سرابندی و همکاران (۲۰۱۹) عصاره پوست بادمجان خشک شده با خشک کن پاششی در دیواره ای از صمغ عربی در مقایسه با

<sup>3</sup> Laureanti

<sup>4</sup> Pink pepper

<sup>5</sup> Green propoli

<sup>6</sup> Sarabandi

<sup>1</sup> Teodoro

<sup>2</sup> Alves

کاربرد خشک کن پاششی در ریزپوشانی اسانس... / سیدامیرحسین گلی و همکاران

نمونه‌های تولید شده با مالتودکسترین مقادیر \*L، \*a رنگ طبیعی صمغ عربی (زرد تا قرمز)، نسبت داده و \*b بالاتری را نشان دادند که علت این افزایش، به شد [۲۸].

جدول ۴- خصوصیات فیزیکوشیمیایی ریزپوشینه‌های تولید شده

Table 4-Physicochemical properties of produced microcapsules

تیمار Treatment	خصوصیات فیزیکوشیمیایی Physicochemical properties				ظرفیت بارگذاری (درصد) Loading capacity(%)
	رطوبت (درصد) Moisture (%)	جذب آب (ثانیه) Water absorption (s)	دانسیته (گرم بر میلی لیتر) Density(g/ml-1)	راندمان ریزپوشانی (درصد) Encapsulation efficiency (%)	
GA-MD 100/0	6.72±0.30 <sup>A</sup>	2380.00±28.28 <sup>A</sup>	0.37±0.01 <sup>C</sup>	33.72±0.16 <sup>D</sup>	6.74±0.04 <sup>D</sup>
GA-MD 75/25	4.31±0.03 <sup>B</sup>	1657.50±45.96 <sup>B</sup>	0.38±0.00 <sup>C</sup>	41.28±0.63 <sup>C</sup>	8.24±0.12 <sup>C</sup>
GA-MD 50/50	3.64±0.04 <sup>C</sup>	392.00±16.97 <sup>C</sup>	0.41±0.01 <sup>B</sup>	89.26±0.79 <sup>B</sup>	17.78±0.16 <sup>B</sup>
GA-MD 25/75	3.17±0.19 <sup>C</sup>	220.00±14.14 <sup>D</sup>	0.47±0.01 <sup>A</sup>	94.72±0.67 <sup>A</sup>	18.92±0.11 <sup>A</sup>

- اختصارات: (GA): صمغ عربی، (MD): مالتودکسترین

- اعداد، میانگین ± انحراف معیار می‌باشند.

- در هر ستون حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بین میانگین تیمارها است.

Abbreviations: (GA): Gum Arabic, (MD):Maltodextrin

Values are mean+ standard deviation

Capital letters in each column indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) among treatments mean

جدول ۵- شاخص‌های رنگ ریزپوشینه‌های حاوی اسانس خردل

Table 5- Color values of microcapsules containing Mustard essential oil

تیمار Treatment	شاخص‌های رنگ Color parameters		
	L*	a*	b*
GA-MD 100/0	78.91±0.16 <sup>D</sup>	4.26±0.15 <sup>A</sup>	13.33±0.12 <sup>A</sup>
GA-MD 75/25	82.42±0.04 <sup>C</sup>	2.10±0.21 <sup>B</sup>	11.34±0.40 <sup>B</sup>
GA-MD 50/50	83.93±0.39 <sup>B</sup>	2.13±0.12 <sup>B</sup>	10.72±0.32 <sup>B</sup>
GA-MD 25/75	86.17±0.41 <sup>A</sup>	0.75±0.08 <sup>C</sup>	8.25±0.35 <sup>C</sup>

- اختصارات: (GA): صمغ عربی، (MD): مالتودکسترین

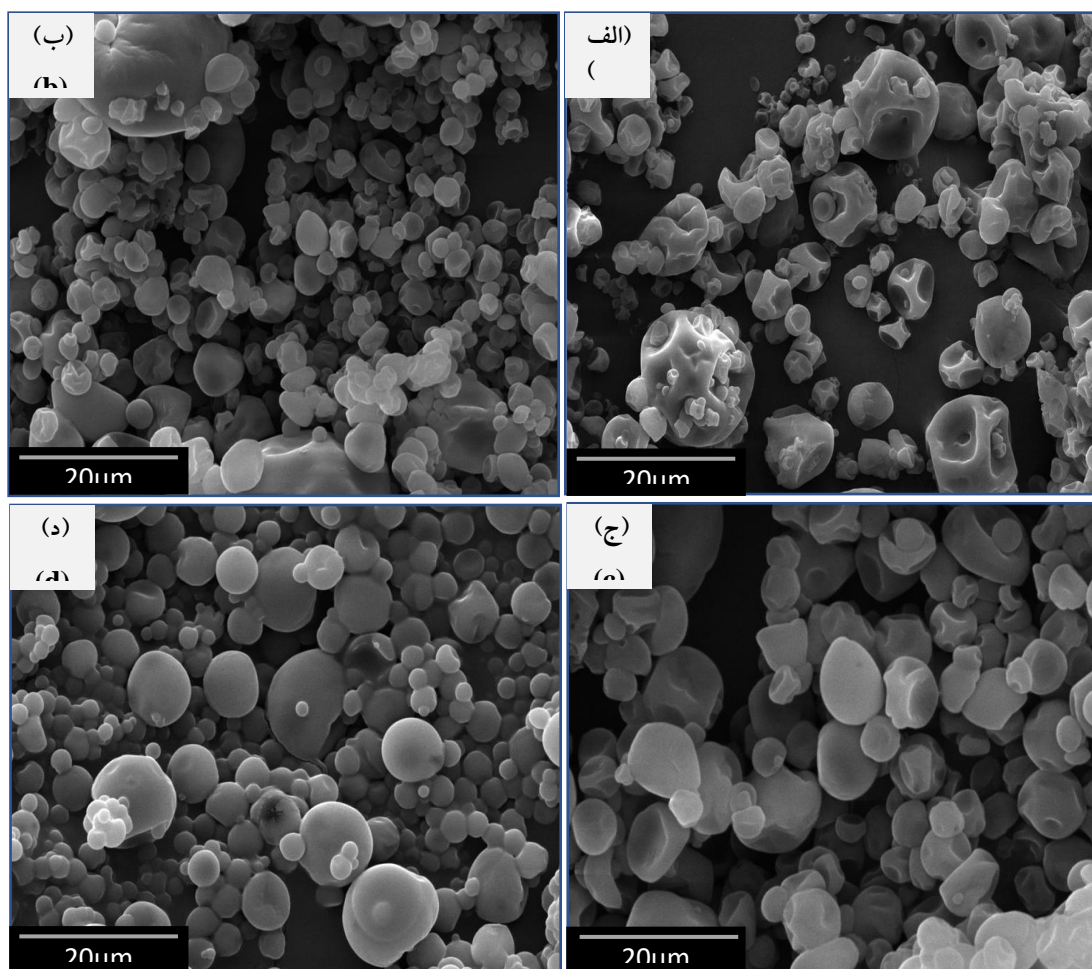
- اعداد، میانگین ± انحراف معیار می‌باشند.

- در هر ستون حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بین میانگین تیمارها است.

- Abbreviations: (GA): gum arabic, (MD): Maltodextrin

- Values are mean+ standard deviation

- Capital letters in each column indicate significant difference ( $p < 0.05$ ) among treatments mean



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی ریزپوشینه‌های حاوی اسانس خردل با نسبت‌های مختلف صمغ عربی و مالتودکسترین (GA/MD). الف: GA-MD ۱۰۰/۰، ب: GA-MD ۷۵/۲۵، ج: GA-MD ۵۰/۵۰، د: GA-MD ۲۵/۷۵

Figure 1. Scanning electron micrograph of encapsulated mustard essential oil using different ratio of gum arabic (GA) and maltodextrin (MD). a: GA-MD 100/0, b: GA-MD 75/25, c: GA-MD 50/50, d: GA-MD 25/75

ناهمسان شد. کاناکنده او همکاران (۲۰۰۷) اولئورزین زیره را در پوشش‌های مختلفی ریزپوشانی کردند. گزارش حاکی از آن بود که سطح ذرات حاصل از صمغ عربی، کروی و همراه با فرورفتگی و شکل بسیار ناهمسان بود [۲۹]؛ بنابراین طبق مطالعات انجام شده و نتایج به دست آمده، تیمار GA-MD ۲۵/۷۵ به عنوان تیمار بهینه انتخاب شد. در این پژوهش مشخص شد که با افزایش نسبت مالتودکسترین در مواد دیواره راندمان ریزپوشانی افزایش یافته و ذرات کروی‌تر و فاقد چروکیدگی و فرورفتگی بودند. سرابندی و همکاران

تصاویر میکروسکوپی: شکل ۱، تصاویر ریزپوشینه‌های تهیه شده مربوط به تیمارهای GA-MD ۱۰۰/۰ (الف) و GA-MD ۷۵/۲۵ (ب)، GA-MD ۵۰/۵۰ (ج) و GA-MD ۲۵/۷۵ (د) را نشان می‌دهد. در تمامی نمونه‌ها، ریزپوشینه‌ها حالت کروی داشتند اما تیمار GA-MD ۲۵/۷۵ حاوی ۲۵ درصد صمغ عربی و ۷۵ درصد مالتودکسترین در مقایسه با سایر تیمارها فاقد چروکیدگی، شکاف یا فرورفتگی بود و ذرات شکسته شده در آن دیده نشد. قابل ذکر است که هر چه میزان صمغ عربی در مواد دیواره بیشتر شد حفرات و فرورفتگی‌های بیشتری ایجاد گردید و شکل ریزپوشینه‌ها

<sup>1</sup> Kanakdande



گرفت. طبق نتایج به‌دست آمده، انتخاب نسبت مناسب ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره جهت ریزپوشانی اسانس موجب تشکیل امولسیون و ریزپوشینه‌هایی با خصوصیات مطلوب و به دنبال آن افزایش راندمان ریزپوشانی می‌گردد. ترکیب مناسب دیواره ضمن محافظت از هسته باید فعالیت امولسیون‌کنندگی بالا و پایداری مطلوب داشته باشد و مانع از جدا شدن ترکیب چربی دوست از امولسیون طی خشک کردن شود. در این مطالعه تیمار حاوی ۲۵ درصد صمغ عربی و ۷۵ درصد مالتودکسترین (GA-MD ۲۵/۷۵) باراندمان ۹۴/۷۲ درصد، ظرفیت بارگذاری ۱۸/۹۲ درصد، رطوبت ۳/۱۷ درصد، زمان جذب آب ۲۲۰ ثانیه و دانسیته ۰/۴۷ گرم بر میلی‌لیتر به عنوان تیمار بهینه و دارای خصوصیات مطلوب انتخاب شد. بدین ترتیب می‌توان استفاده از اسانس خردل ریزپوشینه‌دار شده را به عنوان نگهدارنده طبیعی در محصولات غذایی مورد بررسی قرار داد.

(۲۰۱۹) ریزپوشینه‌های حاوی عصاره پوست بادمجان را مورد بررسی قرار دادند. ریزپوشینه‌های تهیه شده با مالتودکسترین چروکیدگی و فرورفتگی بیشتری را در سطوح خود نسبت به نمونه‌های تهیه شده با صمغ عربی نشان دادند، که به حذف سریع رطوبت و سرد شدن سریع ذرات تولید شده با مالتودکسترین نسبت داده شد [۲۸]. راندمان ریزپوشانی و ظرفیت بارگذاری در تیمار بهینه طبق جدول ۴ به ترتیب ۹۴/۷۲ درصد و ۱۸/۹۲ درصد تعیین شد. استفاده از میزان بیشتر مالتودکسترین موجب تشکیل ریزپوشینه‌هایی با ویژگی‌های مطلوب‌تر مانند رطوبت کم‌تر (۳/۱۷ درصد)، نم‌پذیری بیشتر در زمان کمتر (۲۲۰ ثانیه) و دانسیته بیشتر (۰/۴۷ گرم بر میلی‌لیتر) و رنگ روشن‌تر شد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه اسانس خردل با نسبت‌های مختلف ترکیبات پوشش‌دهنده دیواره (صمغ عربی: مالتودکسترین) و با استفاده از خشک‌کن پاششی ریزپوشانی شد و خصوصیات پودر مورد بررسی قرار

### References

1. Pisoschi, A. M., Pop, A., Georgescu, C., Turcuş, V., Olah, N. K. and Mathe, E. 2018. An overview of natural antimicrobials role in food. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 143, 922-935. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.11.095>
2. Mejía-Garibay, B., Palou, E. and Pez-Malo, A. L. 2015. Composition, diffusion, and antifungal activity of black mustard (*Brassica nigra*) essential oil when applied by direct addition or vapor phase contact. *Journal of food protection*, 78(4), 843-848. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-485>
3. Wang, S. Y., Chen, C. T. and Yin, J. J. 2010. Effect of allyl isothiocyanate on antioxidants and fruit decay of blueberries. *Food Chemistry*, 120(1), 199-204. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.007>
4. Majeed, H., Bian, Y. Y., Ali, B., Jamil, A., Majeed, U., Khan, Q. F., Iqbal, K. J., Shoemaker, C. F. and Fang, Z. 2015. Essential oil encapsulations: Uses, procedures, and trends. *Rsc Advances*, 5(72), 58449-58463. <https://doi.org/10.1039/C5RA06556A>
5. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. and Saurel, R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*, 40(9), 1107-1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
6. Arana Sánchez, A., Estarrón Espinosa, M., Obledo Vázquez, E. N., Padilla Camberos, E., Silva Vázquez, R. and Lugo Cervantes, E. 2010. Antimicrobial and antioxidant activities of Mexican oregano essential oils (*Lippia graveolens* H. B. K) with different composition when

- microencapsulated in  $\beta$ cyclodextrin. *Letters in Applied Microbiology*, 50(6), 585-590. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02837.x>
7. Salimi, A., Maghsoudlou, Y., Jafari, S. M., Sadeghi Mahounak, A., & Kashaninejad, M. (2018). Optimization of Emulsion possessing of lycopene in Arabic Gum and Maltodextrin by Response Surface Methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 10(1), 117-136.
  8. Ozdemir, N., Bayrak, A., Tat, T., Altay, F., Kiralan, M. and Kurt, A. 2021. Microencapsulation of basil essential oil: utilization of gum arabic/whey protein isolate/maltodextrin combinations for encapsulation efficiency and in vitro release. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 1865-1876. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00771-z>
  9. Shahidi Noghabi, M. and Molaveisi, M. 2020. Microencapsulation optimization of cinnamon essential oil in the matrices of gum Arabic, maltodextrin, and inulin by spray drying using mixture design. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2), e13341. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13341>
  10. Bajac, J., Nikolovski, B., Lončarević, I., Petrović, J., Bajac, B., Đurović, S. and Petrović, L. 2022. Microencapsulation of juniper berry essential oil (*Juniperus communis L.*) by spray drying: microcapsule characterization and release kinetics of the oil. *Food Hydrocolloids*, 125, 107430. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107430>
  11. Karrar, E., Mahdi, A. A., Sheth, S., Ahmed, I. A. M., Manzoor, M. F., Wei, W., & Wang, X. (2021). Effect of maltodextrin combination with gum arabic and whey protein isolate on the microencapsulation of gurum seed oil using a spray-drying method. *International Journal of Biological Macromolecules*, 171, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.045>
  12. De Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V. and Botrel, D. A. 2014. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate polymers*, 101, 524-532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>
  13. Premi, M. and Sharma, H. K. 2017. Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative stability of spray dried drumstick (*Moringa oleifera*) oil. *International journal of biological macromolecules*, 105, 1232-1240. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.160>
  14. Başıyigit, B., Sağlam, H., Kandemir, Ş., Karaaslan, A. and Karaaslan, M. 2020. Microencapsulation of sour cherry oil by spray drying: Evaluation of physical morphology, thermal properties, storage stability, and antimicrobial activity. *Powder Technology*, 364, 654-663. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.02.035>
  15. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18th ed.; AOAC Press: Gaithersburg, MD, 2006.
  16. Sabbaghi, H., Ziaififar, A. M., Sadeghi, A. R., Kashaninejad, M., & Mirzaei, H. (2016). Kinetic modeling of color changes in French fries during frying process. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(1), 65-76
  17. Yu, J. C., Jiang, Z. T., Li, R. and Chan, S. M. 2003. Chemical composition of the essential oils of *Brassica juncea (L.) Coss.* grown in different regions, Hebei, Shaanxi and Shandong, of China. *Journal of Food and Drug Analysis*, 11(1), 6. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2729>
  18. Alves, S. F., Borges, L. L., dos Santos, T. O., de Paula, J. R., Conceição, E. C. and Bara, M. T. 2014. Microencapsulation of essential oil from fruits of *Pterodon emarginatus* using gum arabic and maltodextrin as wall materials: composition and stability. *Drying Technology*, 32(1), 96-105. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.816315>
  19. Ramírez, M., Bullón, J., Andérez, J., Mira, I., & Salager, J. L. (2002). Drop size distribution bimodality and its effect on O/W emulsion viscosity. *Journal of dispersion science and technology*, 23(1-3), 309-321. <https://doi.org/10.1080/01932690208984207>
  20. Teodoro, R. A. R., do Carmo, E. L., Borges, S. V., Botrel, D. A., Marques, G. R., Campelo-Felix, P. H., Silva, E. K. and Fernandes, R. V. D. B. 2019. Effects of ultrasonication on the

- characteristics of emulsions and microparticles containing Indian clove essential oil. *Drying Technology*, 37(9), 1162-1172. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1492611>
21. Mahdi, A. A., Mohammed, J. K., Al-Ansi, W., Ghaleb, A. D., Al-Maqtari, Q. A., Ma, M., Ahmed, M. I. and Wang, H. 2020. Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. *International Journal of Biological Macromolecules*, 152, 1125-1134. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.201>
22. Esmaili, F., Hashemiravan, M., Eshaghi, M. R. and Gandomi, H. 2022. Encapsulation of *Arctium lappa* L. root extracts by spray-drying and freeze-drying using maltodextrin and Gum Arabic as coating agents and its application in synbiotic orange-carrot juice. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(4), 2908-2921. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01385-3>
23. Repajić, M., Elez Garofulić, I., Marčac Duraković, N., Balun, M., Cegledi, K., Cegledi, E., Dobrosłavić, E & Dragović-Uzelac, V. (2024). Physico-Chemical Characterization of Encapsulated Fennel Essential Oil under the Influence of Spray-Drying Conditions. *Processes*, 12(3), 577. <https://doi.org/10.3390/pr12030577>
24. Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S., & Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274, 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.016>
25. Sarabandi, K., Peighambaroust, S. H., Mahoonak, A. S. and Samaei, S. P. 2017. Effect of carrier types and compositions on the production yield, microstructure and physical characteristics of spray dried sour cherry juice concentrate. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 1602-1612. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9540-3>
26. Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E. and Dehnad, D. 2016. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International journal of biological macromolecules*, 85, 379-385. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>
27. Laureanti, E. J. G., Paiva, T. S., de Matos Jorge, L. M., & Jorge, R. M. M. (2023). Microencapsulation of bioactive compound extracts using maltodextrin and gum arabic by spray and freeze-drying techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126969. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126969>
28. Sarabandi, K., Jafari, S. M., Mahoonak, A. S. and Mohammadi, A. 2019. Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. *International journal of biological macromolecules*, 140, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.133>
29. Kanakdande, D., Bhosale, R. and Singhal, R. S. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate polymers*, 67(4), 536-541. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.023>

