

## Preparation and formulation of microcapsules containing rosemary extract by freeze-drying and spray-drying methods and evaluation of their properties

Reza Hosseini Najafabadi<sup>1</sup>, Mostafa Karami<sup>2\*</sup>, Ario Emamifar<sup>2</sup>,  
Ashraf Gohari Ardebili<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.A. Degree in Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> Faculty Members, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran,  
Email: [Mkarami@basu.ac.ir](mailto:Mkarami@basu.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Full Paper

#### Article history:

Received: 20-12-2022

Revised: 12-7-2023

Accepted: 19-7-2023

#### Keywords:

Rosemary extract

Maltodextrin

Microcapsule

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Today, due to the harms such as the increase in the possibility of heart and carcinogenic risks and the occurrence of stomach problems that artificial food additives have for the body, attention is paid to antimicrobial compounds of plant and animal origin that cause microbial and chemical control and increase the shelf life of food. Essences, extracts, and medicinal and edible plants due to their antimicrobial compounds, prevent the growth of pathogenic pathogens and delay the growth of spoilage agents in food, as well as food additives, have received the attention of the food and packaging industry today. The need for antibiotics, controlling the microbial contamination of foods, developing technologies to improve shelf life, removing undesirable pathogens and delaying microbial spoilage, and reducing the resistance of pathogenic microorganisms or increasing cell resistance are some of the benefits of these natural antimicrobials. The use of microencapsulation technology is one of the new methods for increasing the antimicrobial and antioxidant performance of extracts, which helps to increase their performance.

**Materials and methods:** In this research, an HPLC device was used to identify the transferred phenolic compounds of rosemary. Also, with the MIC and MBC tests of rosemary essential oil, its antimicrobial ability was checked. Rosemary essential oil was prepared in the form of microcapsules with maltodextrin/modified starch by spray drying and freeze-drying methods with and without ultrasound. Microcapsule tests including morphological characteristics, entrapment percentage, release percentage, particle size, and properties of rosemary binding to maltodextrin/modified starch microcapsules were investigated. The design was done completely randomly and in three replications. The results of the tests were analyzed using Minitab 16 software at the probability level of 95%.

**Results:** The results showed that the treatments of microcapsules prepared by freeze-drying and ultrasound had uniform morphological characteristics and smaller particle size. The size

---

range of microcapsules ranged from 95  $\mu\text{m}$  to 119.2  $\mu\text{m}$  and the polydispersity index was observed from 0.360 to 0.443 between microcapsules treatments. However, the microcapsule treatments prepared by the spray drying method without ultrasound had the highest particle size and the lowest entrapment and release percentage. In terms of the type of bonds created between maltodextrin, modified starch, and rosemary, no significant differences were observed in any of the methods ( $p>0.05$ ).

**Conclusion:** Finally, microcapsule treatment prepared by freeze-drying method and ultrasound was selected as the optimal treatment. This ratio can be used as an optimal mode in the food industry as an antimicrobial and antioxidant microcapsule.

---

**Cite this article:** Hosseini Najafabadi, R., Karami, M., Emamifar, A., Ardebili, G., Gohari Ardebili, A. 2023. Preparation and formulation of microcapsules containing rosemary extract by freeze-drying and spray-drying methods and evaluation of their properties. *Food Processing and Preservation Journal*, 15(2), 125-142.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/FPPJ.2023.20890.1733

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

### تهیه و فرمولاسیون میکروکپسول‌های حاوی عصاره رزماری با روش‌های خشک‌کن انجمادی و پاششی و ارزیابی خصوصیات آن‌ها

رضا حسینی نجف‌آبادی<sup>۱</sup>، مصطفی کرمی<sup>۲\*</sup>، آریو امامی فر<sup>۱</sup>، اشرف گوهری اردبیلی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

<sup>۲</sup> عضو هیات علمی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران، رایانامه: Mkarami@basu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی-پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> امروزه به دلیل مضراتی مانند افزایش احتمال خطرات بیماری قلبی، سرطان‌زایی و بروز مشکلات معده که افزودنی‌های خوراکی مصنوعی برای بدن دارند، توجه به ترکیبات ضد میکروبی با منشأ گیاهی و حیوانی که باعث کنترل میکروبی، شیمیایی و افزایش ماندگاری مواد غذایی شود، رو به افزایش است. اسانس‌ها، عصاره‌ها، گیاهان دارویی و خوراکی به دلیل داشتن ترکیبات ضد میکروبی، به منظور جلوگیری از رشد عوامل بیماری‌زا و تاخیر رشد عوامل فساد در مواد غذایی و نیز به عنوان افزودنی‌های خوراکی امروزه مورد توجه صنعت غذا و بسته بندی قرار گرفته‌اند. کاهش نیاز به آنتی‌بیوتیک‌ها، کنترل آلودگی میکروبی غذاها، توسعه تکنولوژی‌های بهبود عمر ماندگاری، حذف پاتوژن‌های نامطلوب و تاخیر فساد میکروبی، کاهش مقاومت میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا یا افزایش مقاومت سلولی برخی از فواید این ضد میکروب‌های طبیعی است. استفاده از تکنولوژی میکروکپسولاسیون یکی از روش‌های نوین در افزایش میزان عملکرد ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی عصاره‌ها می‌باشد که به افزایش عملکرد آن‌ها کمک می‌کند.
<b>واژه‌های کلیدی:</b> عصاره رزماری مالتودکسترین میکروکپسول	<b>مواد و روش‌ها:</b> در این پژوهش برای شناسایی ترکیبات فنلی انتقال یافته رزماری دستگاه HPLC استفاده شد. همچنین، با آزمون‌های MIC و MBC عصاره رزماری میزان قابلیت ضد- میکروبی آن بررسی شد. عصاره رزماری به صورت میکروکپسوله با مالتودکسترین/نشاسته اصلاح شده با روش‌های خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی به همراه اولتراسوند و بدون اولتراسوند تهیه شد. آزمون‌های میکروکپسول‌ها شامل خصوصیات مورفولوژیکی، درصد به دام اندازی، درصد آزادسازی، اندازه ذرات، خصوصیات اتصال رزماری به میکروکپسول‌های مالتودکسترین/نشاسته اصلاح شده بررسی شد. طرح به صورت کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. نتایج آزمون‌ها با استفاده از نرم افزار Minitab 16 در سطح احتمال ۹۵ درصد آنالیز شدند.
	<b>یافته‌ها:</b> نتایج نشان داد که تیمارهای میکروکپسول‌های تهیه شده با روش خشک‌کن انجمادی و اولتراسوند از خصوصیات مورفولوژیکی یکنواخت، اندازه ذرات کوچکتری در مقایسه با

---

میکروکپسول‌های تهیه شده با روش خشک‌کن پاششی برخوردار بودند. دامنه سایز میکروکپسول‌ها از محدوده ۹۵ میکرومتر تا ۱۱۹/۲ میکرومتر بوده و شاخص پراکندگی نیز از ۰/۳۶۰ تا ۰/۴۴۳ بین تیمارهای میکروکپسول‌ها مشاهده شد. اما تیمارهای میکروکپسول تهیه شده با روش خشک‌کن پاششی و بدون اولتراسوند دارای بالاترین اندازه ذرات و کمترین میزان درصد به دام اندازی و آزادسازی بود. از نظر نوع پیوندهای ایجاد شده بین مالتودکسترین، نشاسته اصلاح شده و رزماری در هر یک از روش‌ها اختلافات معنی داری مشاهده نشد (۰/۰۵ <math>p>).

**نتیجه‌گیری کلی:** در نهایت تیمار میکروکپسول تهیه شده با روش خشک‌کن انجمادی و اولتراسوند به عنوان تیمار بهینه انتخاب شد. این نسبت می‌تواند به عنوان حالت بهینه در صنعت غذا به عنوان یک میکروکپسول ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی استفاده شود.

---

**استناد:** حسینی نجف‌آبادی، ر.، کرمی، م.، امامی‌فر، آ.، گوهری‌اردبیلی، ا. (۱۴۰۲). تهیه و فرمولاسیون میکروکپسول‌های حاوی عصاره رزماری با روش‌های خشک‌کن انجمادی و پاششی و ارزیابی خصوصیات آن‌ها. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۵ (۲)، ۱۴۲-۱۲۵.

DOI: 10.22069/FPPJ.2023.20890.1733



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

امروزه به دلیل مضراتی مانند افزایش احتمال خطرات بیماری‌های قلبی، سرطان‌زایی و بروز مشکلات معده که افزودنی‌های خوراکی مصنوعی برای بدن دارند، توجه به ترکیبات ضد میکروبی، منشاء گیاهی و حیوانی که باعث کنترل میکروبی، شیمیایی و افزایش ماندگاری مواد غذایی شود، رو به افزایش است. اسانس‌ها، عصاره‌ها، گیاهان دارویی و خوراکی به دلیل داشتن ترکیبات ضد میکروبی، به منظور جلوگیری از رشد عوامل بیماری‌زا و تاخیر رشد عوامل فساد در مواد غذایی و نیز به عنوان افزودنی‌های خوراکی امروزه مورد توجه صنعت غذا و بسته بندی قرار گرفته‌اند (۱). کاهش نیاز به آنتی‌بیوتیک‌ها، کنترل آلودگی میکروبی غذاها، توسعه تکنولوژی‌های بهبود عمر ماندگاری، حذف پاتوژن‌های نامطلوب و تاخیر فساد میکروبی، کاهش مقاومت میکروارگانسیم‌های بیماری‌زا یا افزایش مقاومت سلولی برخی از فواید این ضد میکروب‌های طبیعی است. ضد میکروب‌های طبیعی به منابع حیوانی، گیاهی و میکروبی تقسیم می‌شوند. پتانسیل‌های قابل توجهی برای استفاده از ضد میکروب‌های طبیعی در غذاها وجود دارد. امروزه بیش از ۱۳۴۰ گیاه با ترکیبات ضد میکروب و بیش از ۳۰۰۰۰ ترکیب جدا شده حاوی گروه‌های فنل در صنعت غذا استفاده می‌شود. ادویه‌ها و گیاهان خوراکی و دارویی از قبیل پونه، رزماری، آویشن، مریم گلی، ریحان، زردچوبه، زنجبیل، سیر، جوز، میخک، مرزه و رازیانه به تنهایی و یا به همراه سایر نگهدارنده‌ها با موفقیت آزمایش شده‌اند (۲). اسانس‌ها و ادویه‌ها از گذشته‌های دور مورد توجه مردم مصر و کشورهای آسیایی هند و چین بوده است. در طی این سال‌ها از عطر و طعم این اسانس‌ها استفاده‌های فراوانی جهت کاربردهای دارویی، برای نگهداری مواد غذایی، بعنوان چاشنی و نیز در طب

سنتی صورت گرفته است. جستجو برای استفاده از ترکیبات عمده فعال در کاربردهای فرآوری غذا و داروسازی انجام شده است. اسانس‌های تولید شده بوسیله گونه‌های گیاهی مختلف در بسیاری از موارد از نظر زیستی فعال هستند (۳). رزماری با نام علمی (*Rosmarinus officinalis* L.)، از خانواده نعنائیان (*Lamiaceae*) گیاهی پایا، یکساله و معطر و بوته‌ای که طول آن به ۱/۵ متر می‌رسد. با برگ‌های همیشه سبز، باریک، که حالت سنبله دارد. برگ‌ها متقابل کشیده-نخی به طول ۴۰-۱۵ و عرض ۳/۵-۱/۲ میلی‌متر با بافت چرمی و حاشیه لوله شده است. رنگ برگ‌ها سبز روشن، در سطح بالایی چین و چروکدار و در سطح زیرین پوشیده از کرک‌های کوتاه سفید رنگ است. این گیاه بومی مناطق مدیترانه‌ای اروپا و خاور نزدیک است اما در بسیاری از مناطق جهان به عنوان گیاه دارویی و زینتی پرورش داده می‌شود. بیشترین اسانس در برگ‌های این گیاه وجود دارد اما ساقه و گل نیز حاوی مقادیر کمی اسانس هستند (۷). ضیایی هزارجریبی و همکاران (۱۳۹۶) اثرات ضد تریکومونایی اسانس و نانو امولسیون گیاه رزماری بر تریکوموناس واژینالیس<sup>۱</sup> در شرایط آزمایشگاهی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که اسانس و نانو امولسیون رزماری اثر مهاری بر رشد تریکوموناس داشت و در غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر در طول ۳ ساعت به ترتیب ۹۶/۱ درصد و ۱۰۰ درصد مهار رشد را نشان داد. فرناندس و همکاران (۲۰۱۴) خواص فیزیکی و شیمیایی اسانس رزماری ریزپوشانی شده با استفاده از مخلوط پروتئین آب پنیر و اینولین را به عنوان حامل و با روش خشک کردن پاششی بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که میکروکپسول‌های تولید شده در غلظت بالاتر اینولین، بیشترین دانسیته توده‌ای را دارد و مخلوط‌های اینولین

<sup>1</sup> *Trichomonas vaginalis*

منظور جلوگیری از تبخیر، با فویل آلومینیوم پوشانده و تا زمان آزمایش در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۷).

**آزمون شناسایی اجزاء ترکیبات فنولیک با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا<sup>۱</sup>:** در این پژوهش برای شناسایی ترکیبات فنلی انتقال یافته رزماری از دستگاه HPLC (HPLC Agilent 1200-USA) مجهز به آشکارساز آرایه دیودی (HPLC-DAD) با ستون میکرومتر (C18)IDmm6/4×250Prevail (Agilent Technologies، امریکا) به همراه فاز متحرک آب: متانول ۲- پروپانول (۵: ۴۵: ۵۰ درصد حجمی/ حجمی) استفاده شد که با فیلتر با قطر ۰/۴۵ میلی- متر (فیلتر Millipore) شد و حجم تزریق آن نیز برابر با ۲۰ میکرولیتر بود. در این پژوهش جهت شناسایی اجزاء فنولی رزماری از استاندارد ملی ایران به شماره استاندارد ۱۶۳۲۳ استفاده شد (۸)

**تهیه سوسپانسیون میکروبی جهت آزمون‌های MIC و MBC عصاره رزماری:** باکتری لاکتوباسیلوس پلانتروروم در محیط کشت MRS broth<sup>۲</sup> فعال شده و بر محیط MRS agar در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در انکوباتور CO<sub>2</sub> دار حاوی ۵ درصد دی اکسید کربن کشت داده شد. پس از تهیه کلنی‌های ایزوله، از کلنی‌های تک، سوسپانسیون میکروبی حاوی ۵ درصد ۴/۳ × ۱۰<sup>۶</sup> cfu/ml تهیه شد. کپک پنی‌سیلیوم گلوکوم و مخمر ساکارومایسس سرویزیه در محیط کشت Nutrient broth فعال شده و سپس در محیط SDA کشت و در دمای ۲۵-۲۲ درجه سانتی‌گراد گرمخانه‌گذاری گردید. از پنی‌سیلیوم گلوکوم و مخمر ساکارومایسس سرویزیه نیز سوسپانسیون میکروبی

و پودر آب پنیر با نسبت‌های ۱:۱ و ۱:۳ حامل‌های مؤثری برای به دام انداختن اسانس رزماری است و همچنین ترکیب اسانس رزماری ریزپوشانی شده کاملاً مشابه عصاره رزماری خالص است و هیچ‌گونه برهمکنشی بین دیواره و اسانس رزماری نشان داده نمی‌شود. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات میکروکپسول‌های رزماری در میزان ماندگاری و خواص ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی آن‌هاست. در این تحقیق میکروکپسول‌های عصاره رزماری با روش خشک‌کن پاششی و انجمادی جهت استفاده در شربت‌های پرتقال و آلبالو تهیه و ارزیابی شدند.

### مواد و روش‌ها

**تهیه و آماده سازی برگ‌های رزماری:** برگ‌های رزماری، کشت شده در مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، جمع‌آوری شد. پس از شستن و خشک کردن در آون با درجه حرارت (۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) به وزن ثابت خشک و رطوبت ۵ درصد رسانیده شد (۷).

**عصاره گیری بوسیله اولتراسوند (امواج فراصوت):** در این روش ۲۰ گرم از پودر گیاه رزماری با ۱۰۰ میلی‌لیتر حلال آب- اتانول ترکیب شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز در دستگاه اولتراسوند (20-H-TI, Transonic) قرار داده شده است. پس از پایان عمل استخراج محلول توسط دستگاه سانتریفیوژ مدل (HERMILE z200A-Germany) به مدت ۱۰ دقیقه با ۳۰۰ دور در دقیقه و در هر مرحله فاز روئی جمع آوری شد تا دیگر رسوبی در ته لوله دیده نشود. سپس فاز روئی جمع آوری شده با کاغذ صافی واتمن شماره ۱ صاف شد. در ادامه توسط اوپراتور تحت خلاء (TAM 2times-Iran) در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد حلال تبخیر شده و عصاره به دست آمده را به

<sup>1</sup> High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

<sup>2</sup> De Man, Rogosa and Sharpe

میلی‌مولار به ۰/۲ میلی‌لیتر از عصاره رزماری اضافه و سپس جذب آنها در ۵۱۷ نانومتر تعیین شد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر حسب درصد مهار DPPH از طریق رابطه زیر به دست آمد (۱۱).

رابطه ۱

$$100 \times \frac{\text{جذب نمونه - جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}} = \text{درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی}$$

محاسبه میزان ترکیبات فنولی کل<sup>۴</sup>: میزان ترکیبات فنولی توسط روش کالریمتری بر اساس روش سینگلتن و روسی (۱۹۶۵) با کمی اصلاحات محاسبه شد. عصاره استخراج شده (به میزان ۲۰۰ میکرولیتر) پس از تقسیم شدن به دو قسمت مساوی با واکنشگر فنولی فولین سیوکالتیو<sup>۵</sup> (به میزان ۸۰۰ میکرولیتر) مخلوط شد. بعد از ده دقیقه محلول کربنات سدیم (۲ میلی‌لیتر) به مخلوط اضافه شده و سپس در مکان تاریک به مدت ۹۰ دقیقه نگهداری شد. سپس جذب محلول در ۷۲۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتری اشعه فرابنفش - نور مرئی (BIOMATE 3S, Thermo Scientific, MA) قرائت شد. غلظت‌های (۵۰۰-۱۰۰ میکروگرم بر لیتر) به‌عنوان منحنی استاندارد استفاده شد (۱۲).

**فرمولاسیون و ارزیابی میکروکپسول‌های حاوی عصاره رزماری:** برای تهیه میکروکپسول‌ها، محلول ۱۰ درصد از نشاسته اصلاح شده یا همان starch 2230 N-Creamer و همچنین محلول ۱۰ درصد از مالتودکسترین سیگما با DE 4-7 تهیه شدند. هر دو محلول با نسبت مولی ۱:۱ با یکدیگر مخلوط شدند. عصاره به میزان ۱ درصد به محلول اضافه شد. محلول پوشش دهی و عصاره رزماری به غلظت ۲ میلی‌گرم در میلی‌لیتر به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۲۵۰۰۰ rpm هم زده شدند. نیمی از محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه

تهیه و به هر شیشه تلقیح گردید به طوری که غلظت نهایی لاکتوباسیلوس پلانتروم در هر شیشه ۱۰<sup>۴</sup> cfu/g و ۶/۴× پنی سیلیوم گلوکوم ۱۰<sup>۴</sup> cfu/g × ۱/۸ و ساکارومایسس سرویزیه ۱۰<sup>۴</sup> cfu/g بود (۹).

**تعیین حداقل غلظت مهار کنندگی (MIC)<sup>۱</sup> و حداقل غلظت کشندگی (MBC)<sup>۲</sup>:** آزمایش MIC در پلیت ۹۶ خانه استریل و با روش براث میکروداپلوشن انجام شد. ابتدا از محیط کشت مولر هیتتون براث (مرک آلمان) ۱۰۰ میکرولیتر داخل ۹۶ چاهک میکروپلیت ریخته شده و سپس به اولین چاهک هر ردیف ۱۰۰ میکرولیتر عصاره اضافه شد و از خانه دوم به سوم و به همین ترتیب تا خانه نهم رقیق شد. در آخر به همه چاهک‌ها ۱۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون میکروبی رقیق شده معادله لوله نیم مک فارلند اضافه گردید. بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد کف پلیت زیر نور مشاهده شد. وجود کدورت که نشان دهنده رشد یا عدم رشد باکتری بود را در جدول مخصوص یادداشت نموده و طبق تعریف غلظت چاهکی که هیچ کدورتی در آن ایجاد نشده بود، معادل MIC تعیین شد. چاهک کنترل عصاره، محیط کشت و میکروب نیز جداگانه منظور شد. برای آزمایش MBC همه چاهک‌های فاقد کدورت جداگانه بر روی محیط مولر هیتتون آگار کشت داده شد. پس از ۲۴ ساعت کمترین غلظتی از عصاره که باکتری در آن رشد نکرده بود به عنوان حداقل غلظت کشندگی MBC گزارش شد (۱۰).

**ارزیابی میزان مهار کنندگی رادیکال‌های آزاد:** یکی از روش‌های اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از طریق ارزیابی میزان مهار رادیکال آزاد DPPH<sup>۳</sup> است. در این مرحله ۴ میلی‌لیتر از محلول DPPH ۰/۱

<sup>۱</sup> Minimum inhibitory concentration

<sup>۲</sup> Minimum bactericidal concentration

<sup>۳</sup> 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.

<sup>۴</sup> Total phenolic content (TPC)

<sup>۵</sup> Folin-Ciocalteu's phenol reagent

کیلوهرتز و به مدت ۳ دقیقه، امولسیون تهیه گردید. جهت جلوگیری کردن از کف کردن و همچنین رسیدن به دمای مناسب برای وارد کردن به خشک کن انجمادی امولسیون تهیه شده به مدت ۱۹ ساعت در فریزر با دمای ۷۰- درجه سلسیوس نگهداری و سپس به خشک کن انجمادی (مدل OPEron FDB- ساخت کشور کره) منتقل شد. نمونه‌ها در خشک کن انجمادی در دمای ۵۵- درجه سلسیوس با فشار ۰/۱۵ میلی متر جیوه طی ۲۰ ساعت خشک شدند (۱۳).

در حمام اولتراسونیک با توان ۱۵۰ وات قرار داده شد. نیمی از مخلوط بدست آمده توسط دستگاه خشک کن پاششی با دمای ورودی ۱۱۰ درجه سانتی گراد و دمای خروجی ۷۰ درجه سانتی گراد و سرعت نسبی ۷/۵ میلی لیتر بر دقیقه خشک شده و در نهایت پودر خشک شده در یک ظرف مات جمع آوری و در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد. بخشی از محلول حاصل، پس از عملیات هم زدن و همگن سازی اولیه به کمک همزن مغناطیسی ( L.T.108, V.220, ) ساخت کشور آلمان در فرکانس ۲۰

جدول ۱- کدبندی تیمارهای میکروکپسول

Table 1- Coding of Microcapsule Sermons

نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک کن انجمادی و اولتراسوند شده	T1
Microcapsule sample dried by freeze dryer and ultrasound	
نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک کن انجمادی و اولتراسوند نشده	T2
Microcapsule sample dried by freeze dryer and not ultrasound	
نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک کن پاششی و اولتراسوند شده	T3
Microcapsule sample dried by spray dryer and ultrasound	
نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک کن پاششی و اولتراسوند نشده	T4
Microcapsule sample dried by spray dryer and not ultrasound	

استفاده شد. بدین جهت میکروکپسول‌ها به وسیله چسب دو طرفه بر روی کوتر (SC 7620 England) تثبیت و به مدت ۲ دقیقه بوسیله طلا و پالادیم پوشش داده شد. مشاهده کپسول‌ها بوسیله میکروسکوپ الکترونی مدل (LEO 1450 VP Germany) با تابش الکترونی ۱۰kV انجام پذیرفت (۱۵).

درصد به دام اندازی عصاره رزماری در میکروکپسول‌ها: برای تعیین میزان به دام اندازی عصاره رزماری مقدار ۳۰ میلی گرم از میکروکپسول‌های خشک شده را وزن نموده و در ۲۵ میلی لیتر از بافر PBS (سالین فسفات بافر) با ۷/۴ = pH حل نموده و تحت هم زدن شدید به مدت ۶ ساعت قرار داده شد. مخلوط حاصل در ۱۲۰۰۰ دور به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد سانتریفوژ شد. غلظت عصاره رزماری در محلول

تعیین اندازه میکروکپسول‌ها و نحوه پراکنش آن‌ها: اندازه کپسول‌های حاصل از هر یک از تیمارها و شاخص پراکنندگی هر یک از آنها با استفاده از دستگاه اندازه گیری قطر ذرات مدل (SALD-2101 SHIMADZU japan) تعیین گردید. برای این منظور میکروکپسول نشاسته اصلاح شده/ مالتو دکسترین در آب یون زدایی شده (Milli Q Millipore USA) با ضریب هدایت ۰/۰۵۴  $\mu\text{S}$  پراکنده و نتایج حاصل براساس قطر حجم میانگین ذرات  $\pm$  استاندارد خطا گزارش شد (۱۴).

بررسی مورفولوژی میکروکپسول‌ها: برای بررسی مورفولوژی میکروکپسول‌ها و مشاهده شکل ظاهری آن‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۱</sup> (SEM)

<sup>1</sup> Scanning electron microscope



معادلات نمودار رهایش در برابر زمان ترسیم شد (۱۷):

رابطه ۴

$$\frac{dMt}{dt} = k \text{ صفر درجه}$$

در رابطه بالا k ثابت، t زمان و Mt میزان عصاره رزماری آزاد شده در زمان t است M<sup>∞</sup> و M<sub>0</sub> مقادیر رهایش در زمان‌های صفر و t است.

رابطه ۵

$$F = 1 - \frac{Mt}{M^{\infty}} \quad 1 + 2F - 3F^2 = Kt \text{ مدل هیگوچی}$$

A میزان عصاره رزماری در میکروکپسول‌ها (میلی گرم)، B مقدار کل عصاره رزماری (میلی گرم)، وزن کلی میکروکپسول‌ها (نانوگرم) است (۱۲).

ارزیابی اتصال عصاره رزماری به میکروکپسول‌های مالتودکسترین/نشاسته اصلاح شده: برای ارزیابی اتصال عصاره رزماری به میکروکپسول‌های مالتودکسترین/نشاسته اصلاح شده، طیف FTIR<sup>3</sup> با استفاده از دستگاه FTIR (مدل IRTracer-100 ساخت شرکت شیمدازو ژاپن) به دست آمد. برای این منظور هر چهار تیمار میکروکپسول‌ها به صورت تهیه شده با روش خشک‌کن انجمادی و پاششی با پودر برمایند پتاسیم با یک دستگاه قرص ساز دستی به صورت پودر در آمد. طیف جذبی با رزولشن 4 cm<sup>-1</sup> در محدوده 4000-600 برای همه تیمارها مورد استفاده قرار گرفت و پیوندهای عبوری شناسایی شدند (۱۳).

### تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری از روش دانکن در سطح معنی داری ۵ درصد استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون T-Test در سه تکرار استفاده شد.

### نتایج و بحث

فوقانی با استفاده از اسپکتروفتومتری طیف مرئی در طول موج ۴۴۵ نانومتر محاسبه گردید. با استفاده از رابطه‌های (۲) و (۳) میزان کارایی موثر ریز پوشانی عصاره رزماری به دام اندازی شده (EE<sup>1</sup>) و میزان کارایی عصاره رزماری بارگذاری شده (LE<sup>2</sup>) بدست آمد (۱۶):

$$\text{رابطه ۲} \quad EE = \frac{A}{B} \times 100$$

$$\text{رابطه ۳} \quad LE = \frac{A}{C} \times 100$$

در حالی که A میزان عصاره رزماری در درجه معکله اول میکروکپسول‌ها (میلی گرم)، B مقدار کل عصاره رزماری (میلی گرم)، C وزن کلی میکروکپسول‌ها (نانوگرم) شد.

### درصد رهایش عصاره رزماری در میکروکپسول‌ها:

رهایش عصاره رزماری از میکروکپسول‌ها در محیط سالین بافر فسفات با دور همزن ۱۰۰۰rpm در بازه-های زمانی صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه انجام شد و نمونه حاصل را با (HPLC Agilent 1200-USA) مجهز به پمپ مدل Ultimate 3000 با دو ورودی حلال، سیستم گاز زدا (مدل CS6150)، ستون P5 ODS Hichrome (C18) به طول ۲۵۰ میلی‌متر و قطر داخلی ۴/۶ نانومتر که با ذراتی با ابعاد ۵ میکرومتر پر شده، آشکارساز فلورسانس RF2000 طول موج تهییج ۳۳۰ و طول موج نشر ۵۵۰ نانومتر و شویش گرادایانت، فاز متحرک شامل دو بخش (بافر فسفات با pH=۷ و استونیتریل به نسبت ۱۵:۸۵) و سرعت جریان ۰/۹ میلی‌لیتر بر دقیقه روش ارتقاء پیدا کرد و معتبر شد. میکروکپسول‌ها با تزریق ۲۰ میکرومتر از نمونه آماده شده، حدوداً در دقیقه ۲۴ جدا، شناسایی و تعیین مقدار شد و داده‌ها با نرم افزار Chromeleon version 6.6 جمع بندی شدند. براساس

<sup>11</sup> Encapsulant efficacy

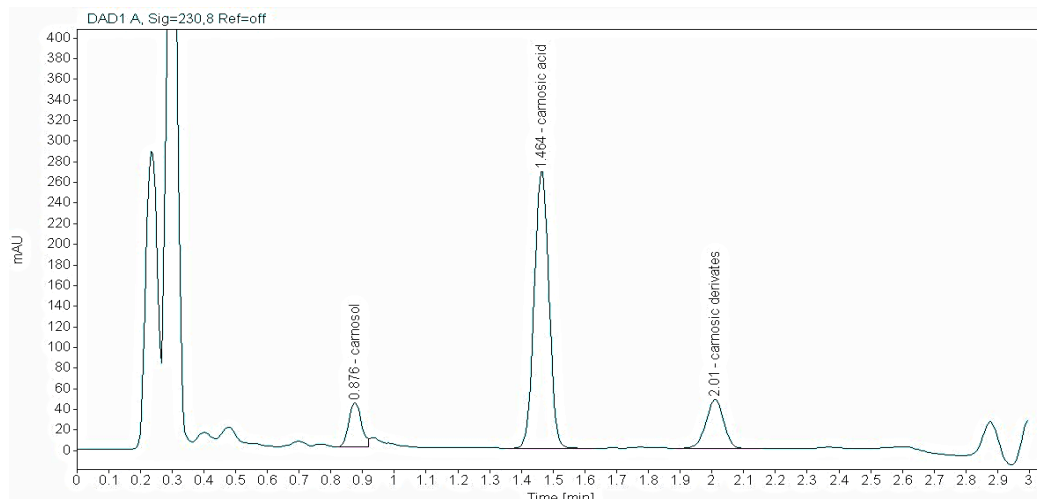
<sup>2</sup> Loaded efficiency

<sup>3</sup> Fourier transform infrared

نتایج ارزیابی شناسایی اجزاء ترکیبات فنولیک: بعد از تزریق عصاره به دست آمده به دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی، با توجه به الگوی خروج آلکان‌های نرمال، شاخص بازداری<sup>۱</sup> و ضرایب کوآتس برای ترکیبات محاسبه و در نهایت مقایسه آنها با شاخص‌های مرجع، طیف‌های مربوط به هر جسم تفسیر و ترکیبات عمده تشکیل دهنده عصاره، شناسایی شدند. جدول ۱ درصد فراوانی هر یک از اجزای تشکیل دهنده عصاره را به همراه درصد آنها را نشان می‌دهد (۲۰ و ۲۱).

---

<sup>1</sup> Index Retention



شکل ۱- طیف HPLC عصاره رزماری

Figure 1- HPLC Spectrum Rosemary Extract

جدول ۱- ترکیبات تشکیل دهنده عصاره رزماری

Table 1- Rosemary Essential Oil Constituents

مقدار(درصد) Value (%)	نام ترکیب Compound name	مقدار(درصد) Value (%)	نام ترکیب Compound name
0.49	آلفا-ترین $\alpha$ -Phellandrene	0.65	تری سیکلن Tricyclene
1.01	بتا-سیمن $\beta$ -Cymene	12.3	آلفا- پینن $\alpha$ -Phellandrene
8.1	لیمونن Limonene	9.2	کامفن Camphene
12.02	۸- سینئول 1,8-Cineole	2.58	اکتن- ۳- ال Octen-3-ol
0.91	میرسن Myrcene	0.99	۳- اکتانون 3-Octanone
1.87	آلفا- فلاندرن $\alpha$ -Phellandrene	0.55	وربن Verbenene

لاکتوباسیلوس پلانتاروم، پنی سیلیوم گلوکوم و ساکارومایسس سرویزیه مطابق با جدول ۲ می باشد (۲۳).

نتایج ارزیابی حداقل میزان مهارکنندگی و کشندگی عصاره رزماری: میزان حداقل غلظت بازدارنده از رشد عصاره رزماری در برابر میکروارگانیسم‌های

جدول ۲- حداقل میزان کشندگی و مهارکنندگی عصاره رزماری

Table 2- Minimum inhibition concentration and minimum bactericidal concentration of rosemary extract

حداقل میزان مهارکنندگی Minimum inhibition concentration	حداقل غلظت کشندگی Minimum bactericidal concentration	نام باکتری
3.2±0.01	3.5±0.01	لاکتوباسیلوس پلانتاروم Lactobacillus plantarum
5.1±0.02	5.5±0.02	پنی سیلیوم گلوکوم Penicillium glaucum
7.2±0.03	8.5±0.01	ساکارومایسس سرویزیه Saccharomyces cerevisiae

• داده‌ها میانگین ± انحراف معیار سه تکرار هستند.

نتایج ارزیابی میزان مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد و ترکیبات فنولی تام

جدول ۳- حداقل میزان مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد و ترکیبات فنولی تام عصاره رزماری

Table 3- Minimum inhibition rate of free radicals and total phenolic compounds of rosemary extract

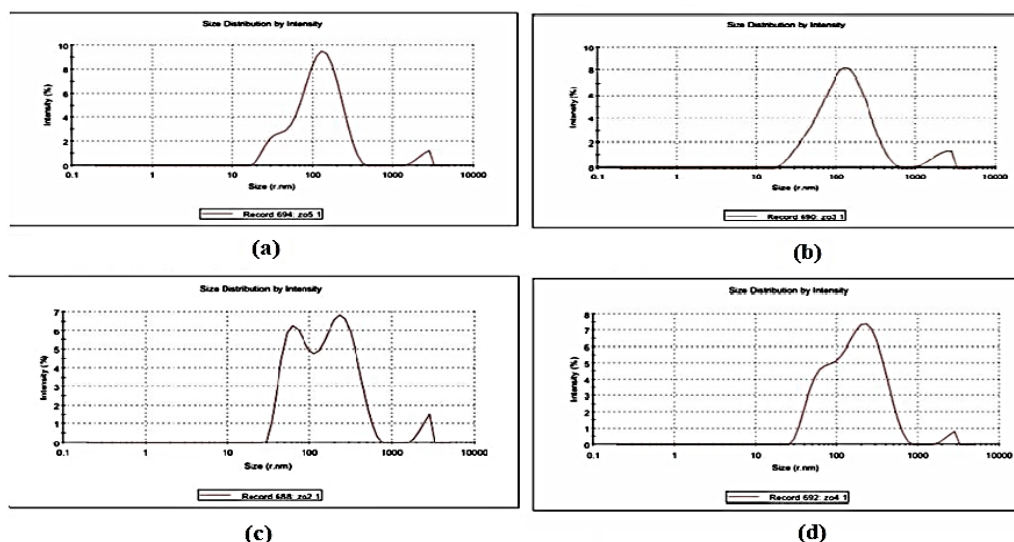
میزان مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد (درصد)	میزان ترکیبات فنولی کل (میلی‌گرم در گرم نمونه)
Inhibition rate of free radicals (%)	Total phenolic compounds (mg/g sample)
5.1±0.01	184.32±0.02

• داده‌ها میانگین ± انحراف معیار سه تکرار می‌باشند.

الکترواستاتیکی نشاسته اصلاح شده/ مالتودکسترین در به دام انداختن عصاره رزماری موثر می‌باشد که قابلیت تشکیل شبکه تخم مرغی<sup>۱</sup> را نیز دارد و با عملکرد به عنوان هسته می‌تواند برای به دام اندازی عصاره رزماری مورد استفاده قرار گرفته و باعث به دام اندازی عصاره رزماری شود. همان گونه که در نتایج جدول ۴ نیز قابل مشاهده می‌باشد نوع روش مورد استفاده در تهیه میکروکپسول‌ها باعث ایجاد تغییراتی در اندازه ذرات میکروکپسول‌ها شد. به‌طور کلی در روش غیر اولتراسوند، میزان سایز میکروکپسول‌ها نسبت به روش اولتراسوند به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. اندازه ذرات میکروکپسول‌ها در روش خشک‌کن پاششی به دلیل این که نازل ذرات اولیه ریزتری آزاد می‌سازد که این ذرات به طور معنی‌داری به هم چسبیده و اندازه ذرات افزایش می‌یابد. که با وزن مولکولی میکروکپسول‌ها ارتباط دارد (۲۴ و ۲۵).

**نتایج اندازه و شاخص پایداری میکروکپسول‌ها:**  
نتایج ارزیابی اندازه میکروکپسول‌های حاوی عصاره رزماری تهیه شده در شرایط مختلف در شکل ۲ و جدول ۴ آمده است. همان گونه که در شکل ۲ و جدول ۴ مشاهده می‌شود دامنه سایز میکروکپسول‌ها از محدوده ۹۵ میکرومتر تا ۱۱۹/۲ میکرومتر بوده و شاخص پلی دیسپرسیته نیز از ۰/۳۶۰ تا ۰/۴۴۳ بین تیمارهای میکروکپسول‌ها مشاهده شد (۲۵).  
به‌طور کلی با افزایش میزان استفاده از عصاره رزماری در فرمولاسیون تیمارهای میکروکپسول‌ها میزان شاخص سایز و پلی دیسپرسیته افزایش یافت. هدف اولیه تعیین شرایطی بود که در آن میکروکپسول‌ها با ویژگی‌های بهینه تولید شوند، یعنی اندازه و بار سطحی مناسب و کمترین شاخص پراکندگی را داشته باشند. بار سطحی که پتانسیل زتا نیز شناخته می‌شود، روی کارایی ریزپوشانی، پایداری کلوئیدی و میانکنش میکروکپسول‌ها با دیواره پوششی و محیط اطراف تأثیرگذار است. اندازه میکروکپسول‌ها روی توانایی سیستم انتقال ترکیبات برای انتقال و رهایش مؤثر ترکیبات کپسوله شده حایز اهمیت است. بنابراین پایداری میکروکپسول‌ها می‌تواند با بهینه سازی پتانسیل زتا افزایش یابد. میکروکپسول‌های رزماری دارای شکل ظاهری هموزن بوده و دارای شکل کروی و بدون تجمع خوشه‌ای شدن می‌باشد (۱۶). شکل کروی میکروکپسول‌ها نیز به دلیل تعادل

<sup>1</sup> Egg structure



شکل ۲- مقایسه میانگین شاخص اندازه و پلی دیسپرسیتی تیمارهای میکروکپسول حاوی عصاره رزماری  
Figure 2- Comparison of size index median and polydispersity of microcapsule sermons containing rosemary extract

- (a) نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک کن انجمادی و اولتراسوند شده  
(a) Microcapsule sample dried by freeze dryer and ultrasound  
(b) نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک کن انجمادی و اولتراسوند نشده  
(b) Microcapsule sample dried by freeze dryer and not ultrasound  
(c) نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک کن پاششی و اولتراسوند شده  
(c) Microcapsule sample dried by spray dryer and ultrasound  
(d) نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک کن پاششی و اولتراسوند نشده  
(d) Microcapsule sample dried by spray dryer and not ultrasound

جدول ۴- نتایج شاخص سائز و پلی دیسپرسیتی میکروکپسول‌های حاوی عصاره رزماری  
Table 4- Results of size and polydispersity of microcapsules containing rosemary extract

T4	T3	T2	T1	کد تیمار Treatment code
119.2	118.3	103.1	95.02	سائز (میکرومتر) Size ( $\mu\text{m}$ )
0.443	0.378	0.394	0.360	شاخص پلی دیسپرسیتی (PDI) Polydispersity index (PDI)

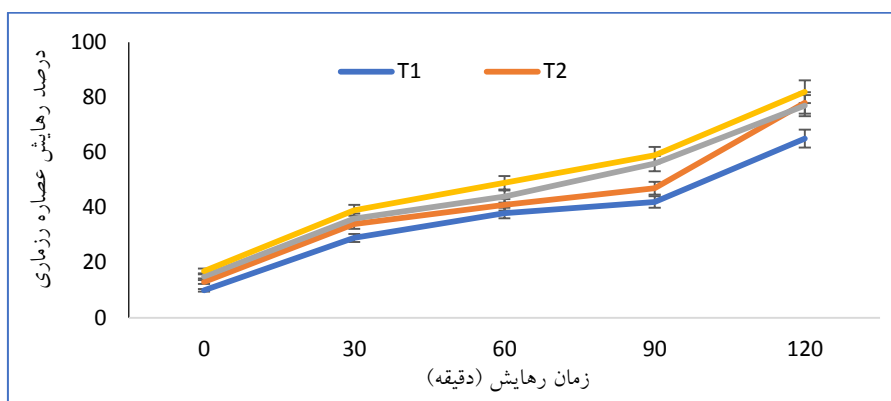
نتایج ارزیابی میزان به دام اندازی عصاره رزماری: درصد و میزان کل عصاره رزماری به دام انداخته شده با توجه به جدول ۵ مشاهده شد که میزان درصد مؤثر عصاره رزماری به دام انداخته شده به میزان ۷۵

جدول ۵- میانگین درصد به دام اندازی عصاره رزماری

درصد به دام اندازی	نوع آزمون
$75 \pm 0.1$	میزان مؤثر عصاره رزماری به دام اندازی شده (EE) Effective amount of trapped rosemary extract (EE)
$79 \pm 0.2$	میزان کل عصاره رزماری به دام انداخته شده (LE) The total amount of trapped rosemary extract (LE)

میکروکپسول خشک شده به روش خشک‌کن پاششی و اولتراسوند نشده و کمترین درصد رهایش مربوط به نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک‌کن انجمادی و اولتراسوند شده می‌باشد.

نتایج درصد رهایش عصاره رزماری در میکروکپسول‌ها: با توجه به شکل ۳ مشاهده شد که بیشترین درصد رهایش عصاره رزماری در میکروکپسول‌های تهیه شده، مربوط به نمونه



شکل ۳- مقایسه نتایج درصد رهایش تیمارهای میکروکپسول حاوی عصاره رزماری  
Figure 3- Comparison of the release percentage results of microcapsule treatments containing rosemary extract

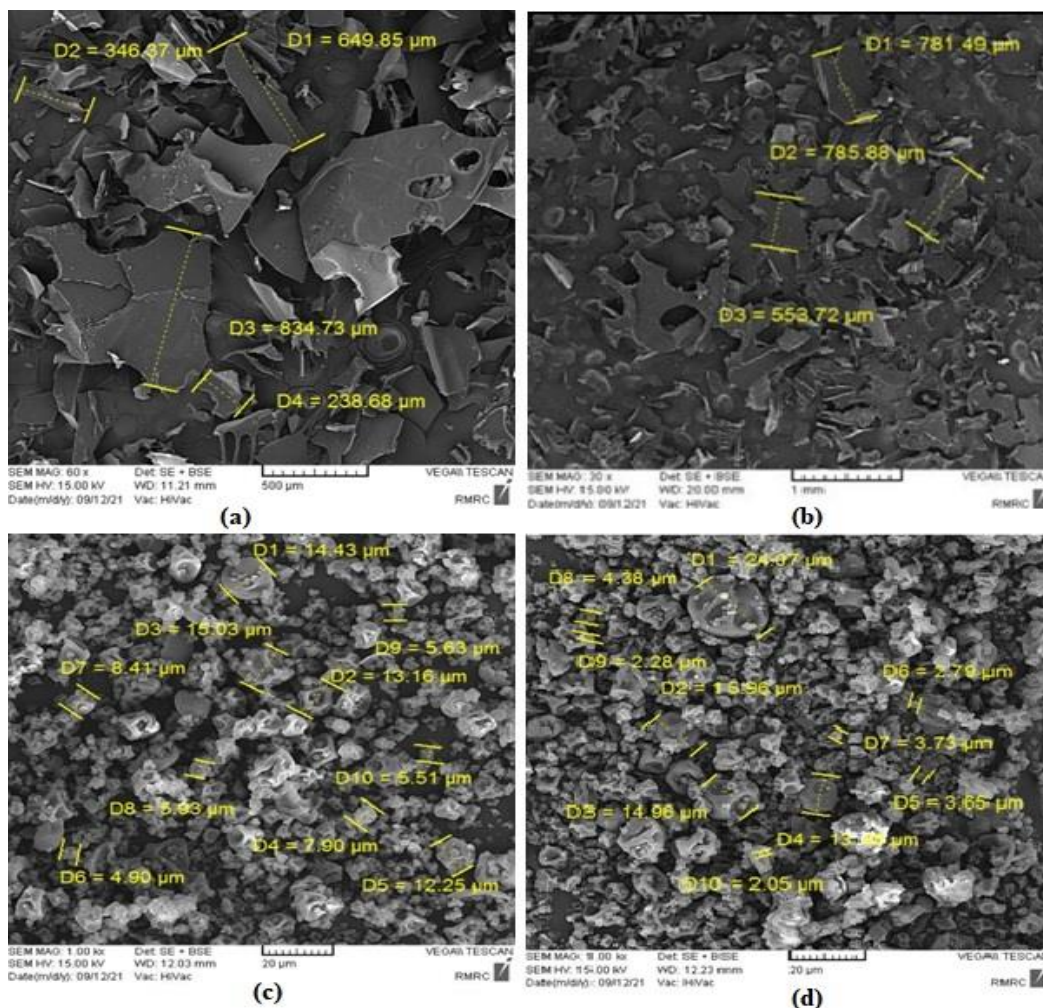
پودرهای تیمارهای خشک‌کن پاششی مشاهده می‌شود. این پودرها، کروی بوده که از خصوصیات پودرهای خشک شده به این روش است. همچنین در برخی موارد پودرهای تولیدی دارای منفذ بودند. مقدار

نتایج ارزیابی مورفولوژی میکروکپسول‌ها: شکل ۴ نتایج میکروسکوپ الکترونی میکروکپسول‌ها را نشان می‌دهد. مطالعه‌های مورفولوژیکی ذرات خشک شده اطلاعات با ارزشی را در مورد خشک کردن ذرات و فاکتورهای شیمیایی و فیزیکی مؤثر بر ساختار ذرات فراهم می‌نماید. بررسی سطحی مورفولوژی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی گردید. شکل ۴ تصاویر میکروسکوپ الکترونی میکروکپسول‌ها را نشان می‌دهد. به طور کلی میکروکپسول‌های تولیدی دارای شکل‌های کروی و سطوح صاف و در برخی نمونه‌ها دارای چروکیدگی و در برخی دیگر دارای شکستگی و دندان‌دار بود (۲۹).

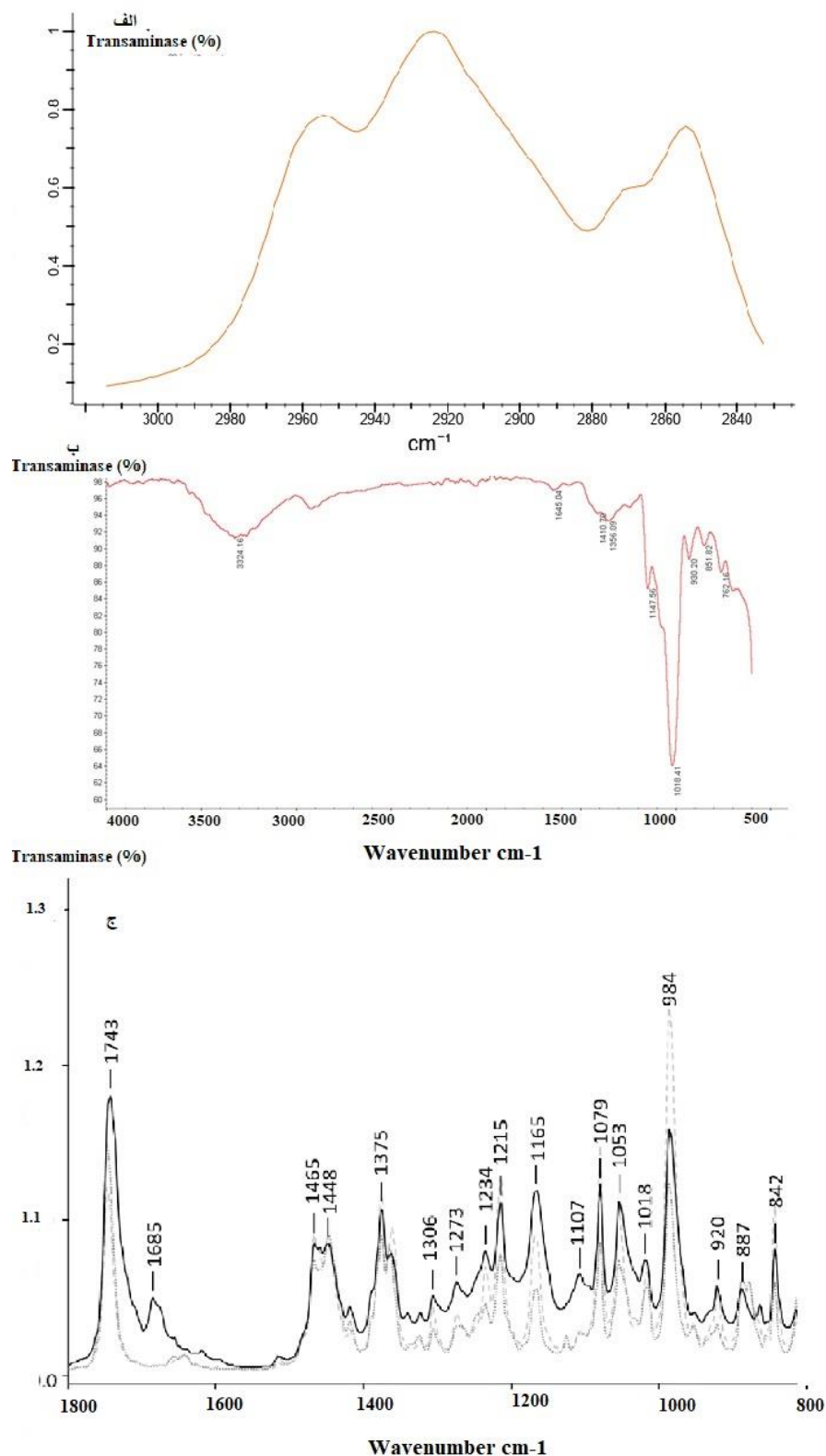
یکی از ویژگی‌های سطوح خارجی میکروکپسول‌های خشک شده با خشک‌کن پاششی، وجود فرورفتگی می‌باشد. در این بررسی نیز مقدار بسیار کمی چروکیدگی و فرورفتگی در سطح

می‌شود. در این ذرات ترک و شکاف‌های بسیاری نیز قابل مشاهده بودند. پودرهای این تیمارها نامنظم، فلس مانند، متخلخل و کریستال مانند بودند. چنین شکل ظاهری برای پودرهای ریزپوشانی از طریق خشک‌کن انجمادی در مطالعه کارتیگ و آناندار اماکریشان (۲۰۱۳)، اسوین تاک و همکاران (۲۰۱۵)، اریت و همکاران (۲۰۱۴) نیز مشاهده شد

چروکیدگی و فرورفتگی در تیمارهای خشک شده با روش پاششی بیشتر از روش انجمادی بود. چنین ساختاری در بررسی‌های الحکیم و استاپلی، راجام و همکاران (۲۰۱۲)، اسوین تاک و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده شد. پودرهای حاصل از تیمارهای خشک‌کن انجمادی دارای شکستگی و دندان‌دار می‌باشند (۳۰). همچنین چین خوردگی‌هایی روی سطح دیده



شکل ۴- نتایج میکروسکوپ الکترونی تیمارهای میکروکپسول (از چپ به راست)  
 Figure 4- Electron microscope results of microcapsule scans (from left to right)  
 (a) نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک‌کن انجمادی و اولتراسوند نشده  
 (a) Microcapsule sample dried by freeze dryer and not ultrasound  
 (b) نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک‌کن انجمادی و اولتراسوند شده  
 (b) Microcapsule sample dried by freeze dryer and ultrasound  
 (c) نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک‌کن پاششی و اولتراسوند نشده  
 (c) Microcapsule sample dried by spray dryer and not ultrasound  
 (d) نمونه میکروکپسول خشک شده به روش خشک‌کن پاششی و اولتراسوند شده  
 (d) Microcapsule sample dried by spray drying and ultrasound



شکل ۵- طیف سنجی مادون قرمز میکروکپسول‌های مالتودکسترین/نشاسته اصلاح شده حاوی عصاره رزماری

تهیه شده الف) مالتودکسترین ب) میکروکپسول ج) عصاره رزماری

Figure 4- Infrared spectroscopy of maltodextrin/modified starch microcapsules containing rosemary essential oil prepared a) maltodextrin b) microcapsule c) rosemary extract



افزایش زمان ماندگاری آن از طریق کاهش، حذف یا کنترل عوامل میکروبی بیماری را یا عامل فساد مواد غذایی صورت می‌گیرد. با توجه به اثبات بسیاری از اثرات زیان بار نگهدارنده‌های شیمیایی و نگرانی عمومی در این زمینه، بحث جایگزینی آنها با انواع ترکیبات طبیعی نظیر عصاره‌های گیاهی افزایش یافته است. با توجه به این که اغلب عصاره‌های گیاهی از لحاظ بیولوژیکی ناپایدار و نامحلول در آب هستند، به منظور بهبود پایداری و زیست دسترس پذیری آنها می‌توان از برخی از روش‌های نوین نظیر میکروکپسولاسیون استفاده کرد. در این روش نیز به منظور کاهش اثرات بد طعمی و حفظ ترکیبات موثره عصاره رزماری روش میکروکپسولاسیون با مالتودکسترین/نشاسته اصلاح شده استفاده شد و سپس نسبت بهینه آن محاسبه و ارزیابی شد. نتایج نشان داد که میکروکپسول‌های بدست آمده دارای خاصیت مهارکنندگی بسیار مناسبی در مقابل رشد لاکتوباسیلوس پلاتناروم، پنی سیلیوم گلوکوم و ساکارومایسس سرویزیه بوده و همچنین از خاصیت آنتی اکسیدانی بسیار بالایی برخوردار می‌باشند. تیمارهای میکروکپسول‌های تهیه شده با روش خشک‌کن انجمادی و اولتراسوند شده از خصوصیات مورفولوژیکی یکنواخت، اندازه ذرات کوچکتر، درصد رهايش کمتر و میکروکپسول‌های تهیه شده با روش خشک‌کن پاششی و اولتراسوند نشده از خصوصیات مورفولوژیکی غیر یکنواخت تر، اندازه ذرات بزرگتر و درصد رهايش بیشتر برخوردار بودند و نهایتاً تیمار میکروکپسول تهیه شده با روش خشک‌کن انجمادی و اولتراسوند به عنوان تیمار بهینه انتخاب شد. این نسبت می‌تواند به عنوان حالت بهینه در صنعت غذا به عنوان یک میکروکپسول ضد میکروبی و آنتی اکسیدانی استفاده شود.

ارزیابی اتصال عصاره رزماری به میکروکپسول‌های مالتودکسترین/نشاسته اصلاح شده: شکل ۵ نتایج پیک‌های مربوط به میکروکپسول‌ها را نشان می‌دهد. در شکل ۵ بخش الف که مربوط به طیف FTIR مالتودکسترین می‌باشد، باندهای مهم مانند هیدروکسیل، اتر و گروه‌های کاربردی کربوکسیلیک، ویراسیون کششی گروه‌های O-H مالتودکسترین در محدوده  $2850-2920 \text{ cm}^{-1}$  مشاهده شد. همچنین با توجه به شکل ۵ بخش ب در نواحی  $1406 \text{ cm}^{-1}$  و  $1596$  به ترتیب با باندهای متقارن و غیر متقارن ویراسیون کششی گروه‌های کربوکسیل ارتباط داشت. باندهای  $1576 \text{ cm}^{-1}$  و  $1656$  به ترتیب به گروه‌های N-H و C=O مربوط هستند. در نواحی  $3478 \text{ cm}^{-1}$  و  $2924$ ، به ترتیب باندهای O-H و C-H مشاهده شد. ضمناً باندهای  $1375/10 \text{ cm}^{-1}$  و  $1422/52 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به گروه‌های CH<sub>2</sub>OH و CHOH می‌باشند. پیک مشخص و تیزی در  $1406 \text{ cm}^{-1}$  که مربوط به گروه‌های C=O- (پیوند کششی: COO-) در نشاسته اصلاح شده و (N-H) در مالتودکسترین ( $1576 \text{ cm}^{-1}$ ) مشاهده شد که احتمالاً به دلیل تشکیل گروه‌های آمیدی می‌باشد. این مشاهدات نشان می‌دهد که پیوندهای فیزیکوشیمیایی بین اجزای ترکیب مخلوط نشاسته اصلاح شده/مالتودکسترین و عصاره رزماری اتفاق افتاده است که تاییدی بر تشکیل نانوذرات نشاسته اصلاح شده/مالتودکسترین حاوی عصاره رزماری می‌باشد. در هر یک از پیک‌های الف و ج پیوندهای قدیمی از بین رفته و پیوندهای جدید تشکیل شده است که این نشان دهنده به دام افتادن عصاره رزماری در میکروکپسول‌های مالتودکسترین/نشاسته اصلاح شده می‌باشد (۳).

### نتیجه‌گیری کلی

در صنایع غذایی حفظ کیفیت ماده غذایی به هم

## References

1. Kourshian, M., Sharifi, A., Mahdian, A. and Bolurian, Sh. 2014. Physical properties of wild black raspberry extract microcapsules prepared by spray dryer method. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*. 7: 4. 2006-2015.
2. Rajai, A., Barzegar, M. and Sahari, M. A. 2008. Comparison of antioxidant properties of seed oils and sesame extracted in different ways. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST, ISI), Tarbiat Modares University*. 10. 345-350. (In Persian)
3. Zolfaghari, B. 2009. Recent Advances in Plant Composition Extraction Methods. *Journal of Herbal Medicines, Islamic Azad University, Shahrekord*. (In Persian)
4. Rosemary plant on the shelf life and quality of chicken meat, 2nd National Conference on New Research in Animal Science, Birjand, IRAN.
5. Ayouqi, F., Barzegar, M., Sahari, M.A and Naghdi Badi, H. 2009. Evaluation of the antioxidant activity of dill essential oil in soybean oil and its comparison with chemical antioxidants. *Scientific-Research Journal of Medicinal Plants Quarterly*. 8:30. 71-73.
6. Fatemi, H. 1999. *Food Chemistry*, Emissions Joint Stock Company press, 480p. (In Persian)
7. Fazel, M., Sahari, M. A. and Barzegar, M. 2008. Determination of major antioxidants of tea seed oil and its effect on conventional Kilka fish oil. *IFSTRJ, Quarterly*. 7:3. 67-61.
8. Fahim Danesh, M., Ghavami, M., Homsy, AH. and Honorable, P. 2008. Evaluation of phenolic and tocopherol compounds in a number of Iranian commercial olive oils using performance-high liquid chromatography *IFSTRJ, Quarterly*. 5:3. 51-53.
9. Ayouqi, F., Barzegar, M., Sahari, M.A. and Naghdi Badi, H. 2009. Evaluation of the antioxidant activity of dill essential oil in soybean oil and its comparison with chemical antioxidants. *Scientific- J. Med. Plant Res*. 8: 30.71-73.
10. Fatemi, H. 1999. *Food Chemistry*, Emissions Joint Stock Company press, 480p. (In Persian)
11. Fazel, M., Sahari, M. A. and Barzegar, M. 2008. Determination of major antioxidants of tea seed oil and its effect on conventional Kilka fish oil *J. Med. Plant Res*. 7: 3. 67-61.
12. Fayyaz Mehr, B. and Asefi, N. 2011. The effect of ultrasonication on the amount and antioxidant capacity of lycopene extracted from tomato scum. *J. Food Res*. 22: 3.
13. Abadio, F.D.B., Domingues, A.M., Borges, S.V. and Oliveria, V.M. 2004. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice. effect of maltodextrin concentration and atomization speed *J. Food Eng*. 64: 285-287.
14. Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B.R. and Troung, V. 2004. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying. experiments and modeling *J. Food Eng*. 62: 53-68.
15. Albu, S., Joyce, E., Paniwnyk., Lorimer, JP. and Mason, TJ. 2004. Potential for the use of ultrasound in the extraction of antioxidants from *Rosmarinus officinalis* for the food and pharmaceutical industry, *Ultrason. Sonochem*. 11.261-265.
16. Antoun, N. and Tsimidou, M. 1998. Olive oil herb and spice specialties: preconceived ideas of potential consumers about their nutritional and sensorial attributes, olive. 71.56-62.
17. Anghel, E.M., Georgiev, A., Petrescu, S., Popov, R. and Constantinescu, M. 2014. Thermo-physical characterization of some kinds of paraffin used as phase change materials for thermal energy storage. *Therm. Anal. Calorim J*. 117. 557-566.
18. Ayadi, M.A., Grati-Kamoun, N. and Attia, H. 2009. Physico-chemical change and heat stability of extra virgin olive oils flavored by selected Tunisian aromatic plants. *FCT*. 47. 2613-2619.
19. Abramovich, H. and Abram, V. 2006. Effect of added rosemary extract on oxidative stability of *Camelina sativa* oil. *Acta agriculturae Slovenica J*. 255 – 261.
20. Ahmadi, F., Kadivar, M. and Shahedi, M. 2007. Antioxidant activity of *Kelussia odoratissima* Mozaff in model and food systems. *Food Chemistry. J*. 105. 57-64.

21. Albertini, B., Passerini, N., Di Sabatino, M., Vitali, B., Brigidi, P. and Rodriguez, L. 2008. Polymer-lipid-based mucoadhesive microspheres are prepared by spray-congealing for the vaginal delivery of econazole nitrate. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2:36.591–601.
22. Azadmard-Damirchi, S. and Dutta, P.C. 2010. *Phytosterol Classes in Olive Oils and their Analysis by Common Chromatographic Methods*. San Diego, Elsevier Inc.
23. Bouaziz, M., Fki, I., Jemai, H., Ayadi, M. and Sayadi, S. 2008. Effect of storage on refined and husk olive oils composition: Stabilization by addition of natural antioxidants from Chemlali olive leaves. *Food Chemistry*, J. 108. 253–262.
24. Boury, F., Marchais, H., Proust, J.E. and Benoit, JP. 2017. Bovine serum albumin release from poly (alpha-hydroxy acid) microspheres: Effects of polymer molecular weight and surface properties. *Journal of Controlled Release*. 45.75–86.
25. Bhandari, B.R., Senoussi, A., Dumoulin, E.D. and Le bert, A. 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technology Journal*. 11:5. 1081-1092
26. Bubonja-Sonje, M., Giacometti, J. and Abram, M. 2011. Antioxidant and antibacterial activity of olive oil, cocoa, and rosemary extract polyphenols. *Journal of Food Chemistry*. 127. 1821–1827.
27. Boskou, D., Blekas, D. and Tsimidou, M. 2006. Olive Oil Composition. In: D. Boskou (Ed), *Olive Oil Chemistry and Technology*. 2nd Ed, pp:41-72. AOCS press.
28. Bodmeier, R. and McGinity, JW. 2019. Solvent selection in the preparation of PLA microspheres prepared by the solvent evaporation method. *International journal of pharmaceutical sciences research*. 43.179–186.
29. Boury, F., Marchais, H., Proust, J.E. and Benoit, JP. 2017. Bovine serum albumin release from poly (alpha-hydroxy acid) microspheres: Effects of polymer molecular weight and surface properties. *Journal of Controlled Release*. 45.75–86.
30. Swetank, Y. H., Karthik, P., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Effect of whey protein isolate and b-cyclodextrin wall systems on stability of microencapsulated vanillin by spray–freeze drying method. *Food Chemistry*, 174, 16-24.