



## تهیه پودر میکروکپسوله $\beta$ -کاروتن با قابلیت استفاده در محیط‌های آبی

عبدالرسول هجری<sup>۱</sup>، علیرضا خسروی<sup>۲\*</sup>، کمال‌الدین قرنجیگ<sup>۳</sup>، محمد امین حجازی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۲- استادیار، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵

۳- استادیار، دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر، ایران، صندوق پستی: ۶۳۵۱۹

۴- استادیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی شمال غرب و غرب کشور، بخش بیوتکنولوژی صنایع غذایی، تبریز، ایران، صندوق پستی: ۵۹۸-۵۱۵۶۹۱۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۱۶ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۹/۹/۲۰

### چکیده

پودر میکروکپسوله  $\beta$ -کاروتن توسط ژلاتین به روش خشک کردن افشانه‌ای تهیه شد و خواص آن از لحاظ مناسب بودن ژلاتین برای کپسوله کردن  $\beta$ -کاروتن و همچنین مناسب بودن پودر برای استفاده در محیط‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. امولسیون تهیه شده دارای متوسط اندازه ذرات ۲٫۸۳ میکرون بود. ساختار ذرات میکروکپسوله کروی با سطح نسبتاً صاف بود و حالت دندانه‌ای کمی داشت. پودر کپسوله شده دارای درصد بالایی از  $\beta$ -کاروتن بوده و قابل استفاده در صنعت می‌باشد. بازده میکروکپسوله شدن ۴۲٫۷٪ بود و با افزایش مقدار ماده پوشش دهنده میزان بازده میکروکپسوله شدن افزایش یافت و به ۵۰٫۸٪ رسید. از لحاظ مناسب بودن نمونه برای مصرف در محیط‌های آبی مشاهده شد که پودر کپسوله شده دارای حلالیت ۷۳٪ در آب سرد است و پایداری آن در آب زیاد بوده و پس از گذشت ۱۴ روز دو فاز نمی‌شود. واژه‌های کلیدی:  $\beta$ -کاروتن، مواد رنگزای غذایی، میکروکپسوله کردن، خشک‌کن افشانه‌ای، پودر  $\beta$ -کاروتن.

## Preparation of Microencapsulated $\beta$ -Carotene Powder for Using in Aqueous Media

A. Hejri<sup>1</sup>, A. Khosravi<sup>1\*</sup>, K. Gharanjig<sup>2</sup>, M. Hejazi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Polymer Engineering and Color Technology, Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875-4413, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Polymer and Color Engineering, Islamic Azad University of Mahshahr, P.O. Box: 63519, Mahshahr, Iran

<sup>3</sup> Department of Food Technology, Branch of Northwest and West Region Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, P.O. Box: 5156915-598, Tabriz, Iran

### Abstract

In this research, microencapsulated  $\beta$ -carotene powder has been prepared by gelatin using spray drying method. Ability of gelatin for encapsulating of  $\beta$ -carotene was examined. Suitability of  $\beta$ -carotene powder was investigated for using in aqueous media. Prepared emulsion had the average particle size of 2.83 microns caused stability of emulsion. Microencapsulated  $\beta$ -carotene particles had spherical shape with smooth and some dented surfaces. Microencapsulated  $\beta$ -carotene powder had high  $\beta$ -carotene content which is suitable for food industry. Microencapsulation efficiency was 42.7% which was increased up to 50.8% by increment of the gelatin concentration. The cold water solubility of the microencapsulated powder was 73% and the powder was stable in water and did not show phase separation after 14 days. J. Color Sci. Tech. 4(2010), 161-167 © Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:**  $\beta$ -carotene, Food colorants, Microencapsulation, Spray dryer,  $\beta$ -carotene powder.

## ۱- مقدمه

مواد رنگزای غذایی به آن دسته از مواد رنگزا می‌گویند که برای رنگ کردن محصولات غذایی به رنگ‌های مختلف به کار می‌روند. مواد رنگزای غذایی به دو گروه اصلی مواد رنگزای طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. اخیراً استفاده از مواد رنگزای مصنوعی در صنایع غذایی به دلیل ایجاد سمیت و حساسیت کاهش یافته و گرایش به استفاده از مواد رنگزای طبیعی گسترش یافته است. در میان مواد رنگزای طبیعی، کاروتنوئیدها از جمله مهمترین مواد رنگزایی هستند که به طور گسترده در گیاهان و میوه‌ها وجود دارند و تقریباً ۷۰٪ ویتامین آ مورد نیاز بدن انسان را تأمین می‌کنند [۱]. کاروتنوئیدها جزء مواد رنگزای محلول در روغن می‌باشند و در رنگ کردن روغن‌ها، چربی‌ها و کره مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاروتنوئیدها دارای فواید بسیاری برای سلامتی می‌باشند و می‌توانند موجب پیشگیری و حفاظت در برابر برخی از بیماری‌های مزمن و جدی مانند سرطان، بیماری‌های قلبی عروقی و دیگر بیماری‌ها شوند [۲،۳].

$\beta$ -کاروتن یکی از مهمترین کاروتنوئیدهای موجود در گیاهان و یکی از پر مصرف‌ترین مواد رنگزای غذایی است. این ماده به عنوان بهترین پیش ماده ویتامین آ، خاصیت آنتی‌اکسیدانی بسیار بالایی دارد و می‌تواند بدن انسان را در برابر بیماری‌های شدید مانند سرطان ریه، بیماری‌های قلبی، غدد بدخیم و دیگر بیماری‌ها حفاظت کند [۴-۶].  $\beta$ -کاروتن با فرمول کلی  $C_{40}H_{56}$  دارای ۱۱ پیوند دوگانه مزدوج شده است که به آن رنگ نارنجی می‌دهد.  $\beta$ -کاروتن در آب نامحلول است ولی در روغن حل می‌شود. به هر حال میزان انحلال  $\beta$ -کاروتن در روغن در دمای اتاق  $0.2 \text{ g/l}$  است [۷].  $\beta$ -کاروتن نسبت به نور، حرارت و اکسیژن حساس است و تخریب می‌شود [۸]. بنابراین، استفاده از آن در صنایع غذایی محدودیت‌هایی دارد.

یکی از راه‌های بر طرف کردن مشکلات استفاده از  $\beta$ -کاروتن، میکروکپسوله کردن آن است. در این فرآیند میکروکپسول‌هایی با اندازه ذرات حدود  $300-500$  میکرون تهیه می‌شود [۹]. فرآیند میکروکپسوله کردن جایگاه خود را در صنایع غذایی به منظور افزایش ماندگاری مواد فعال در طول فرآیند تولید و نگهداری محصول تهیه شده و رساندن مقدار مورد نیاز از ماده فعال به بدن مصرف کننده پیدا کرده است [۱۰]. اهداف استفاده از فرآیند میکروکپسوله کردن در صنایع غذایی عبارتند از کاهش واکنش پذیری ماده با محیط، کاهش سرعت انتقال ماده به محیط، جابه‌جایی آسان‌تر، پوشاندن طعم ماده، رهاسازی کنترل شده ماده و رقیق کردن ماده هنگامی که میزان مصرف آن خیلی کم است [۱۱]. مواد گوناگونی در صنایع غذایی به عنوان ماده پوشش دهنده در فرآیند میکروکپسوله کردن استفاده می‌شوند که می‌توان آنها را در سه دسته تقسیم‌بندی کرد:

۱- پلی‌ساکاریدها شامل نشاسته‌های اصلاح شده، مالتودکسترین‌ها، صمغ عربی، پکتین و آلجینات‌ها.

۲- چربی‌ها و موم‌ها شامل روغن‌های گیاهی هیدروژنه شده، موم زنبور و پروتئین سبوس.

۳- پروتئین‌ها شامل ژلاتین (نوع A و B)، پروتئین آب پنیر و سدیم کازئینات [۱۲].

انتخاب ماده پوشش دهنده در فرآیند میکروکپسوله کردن برای رسیدن به خواص مورد نظر بسیار مهم است. یک روش خوب برای تعیین نوع ماده پوشش دهنده توسط ماتسونو و آداچی در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است [۱۳]. این روش بر مبنای اندازه‌گیری سرعت خشک شدن یک امولسیون به صورت تابعی از درصد رطوبت می‌باشد. ماده مناسب در این روش باید دارای قدرت امولسیون‌کنندگی و پایدار کنندگی بالایی باشد و تمایل به تشکیل یک شبکه متراکم در اول فرآیند خشک شدن داشته باشد و مانع از جدایش روغن از امولسیون در طول خشک شدن شود. بر مبنای این مطالعه مالتودکسترین، ژلاتین و صمغ عربی جزء بهترین مواد برای میکروکپسوله کردن می‌باشند. سرعت خشک شدن این مواد با کاهش درصد آب نمونه به سرعت کاهش می‌یابد که به معنای تشکیل سریع یک لایه متراکم و حفاظت ماده مرکزی در برابر نفوذ اکسیژن و تخریب‌های احتمالی است. بر مبنای همین نمودارهای خشک شدن ژلاتین همانند مالتودکسترین، مالتوز، گلوکز و مانیتول تمامی خواص یک ماده به دام اندازنده مناسب شامل قدرت امولسیون‌کنندگی بالا و پایدار کنندگی بالا و تمایل به تشکیل یک شبکه متراکم در اول فرآیند خشک شدن را دارد [۱۴].

روش‌های گوناگونی برای میکروکپسوله کردن وجود دارند که عبارتند از خشک کردن افشانه‌ای، سرد کننده افشانه‌ای، اکستروژن، پوشش دادن بستر سیال<sup>۱</sup>، به دام اندازی لیپوزوم<sup>۲</sup> و لخته شدن [۱۵]. در میان این روش‌ها خشک کردن افشانه‌ای بیشترین کاربرد را در صنایع غذایی دارد [۹] که به علت هزینه پایین و در دسترس بودن تجهیزات آن می‌باشد. خشک کردن افشانه‌ای در مقایسه با خشک کردن انجمادی ۳۰ تا ۵۰ برابر ارزان‌تر می‌باشد [۱۶]. میکروکپسوله کردن توسط خشک‌کن افشانه‌ای به طور موفقیت آمیزی برای چندین دهه در صنایع غذایی در حال استفاده می‌باشد [۱۷] و یکی از قدیمی‌ترین روش‌هایی است که از ۱۹۳۰ برای کپسوله کردن چاشنی‌ها توسط صمغ افاقا استفاده شده است [۱۱].

در این مقاله، روش تهیه پودر میکروکپسوله  $\beta$ -کاروتن که قابلیت کاربرد در محیط‌های آبی را دارد گزارش شده است. در این راستا ابتدا امولسیون پایداری از  $\beta$ -کاروتن در محیط آبی حاوی ژلاتین تهیه شد و پودر میکروکپسوله با استفاده از خشک‌کن افشانه‌ای به دست آمد. سپس ساختار و خواص فیزیکی و شیمیایی پودر میکروکپسوله شده مورد بررسی قرار گرفت.

1- Fluidised bed coating  
2- Liposome entrapment

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد

تمامی مواد مصرفی در این مقاله از منابع تجارتي به دست آمدند. روغن ذرت، شکر، لسیتین و ژلاتین به ترتیب از شرکت‌های بهشهر ایران، هفت تپه خوزستان، Cargil مالزی و Gelita برزیل تهیه شدند. ویتامین E و ویتامین C و اسید سیتریک از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. β-کاروتن مصرفی نیز محصول شرکت BASF آلمان بود.

### ۲-۲- روش کار

از هموژنایزر (Ultra-Turrax T25-basic IKA) به منظور تهیه یک امولسیون یکنواخت استفاده شد. توزیع اندازه ذرات امولسیون به منظور بررسی پایداری و مناسب بودن اندازه ذرات آن برای میکروکپسوله کردن توسط دستگاه اندازه ذرات (MALVERN MASTERSIZER 2000) تعیین شد. برای تهیه پودر خشک نیز از دستگاه خشک کن افشانه‌ای بوچی<sup>۱</sup> استفاده شد. برای بررسی تشکیل میکروکپسول‌ها، پودر تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری (Bel MPL-15) با بزرگنمایی ×۶۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی ریخت‌شناسی پودر تهیه شده از SEM (SEM-LEO-1455vp) استفاده شد و نمونه در بزرگنمایی‌های ×۳۰۰۰، ×۱۰۰۰ و ×۶۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری درصد کل β-کاروتن و β-کاروتن میکروکپسوله نشده از اسپکتروفتومتر (double beam CECIL 9200) استفاده شد. همچنین از شیکر (Eger6) در آزمون‌های انجام شده استفاده شد.

### تهیه امولسیون و پودر میکروکپسوله β-کاروتن

مخلوطی از ویتامین E، روغن ذرت (w/w ۱:۷) و لسیتین (۱٪ وزنی) به یک مخلوطی از β-کاروتن (شامل ۰.۳۳٪ وزنی) اضافه و همزده شد. فاز آبی با حل کردن ۲٪ شکر، ۲.۵٪ ژلاتین، ۵٪ ویتامین C و ۳٪ اسید سیتریک در آب تهیه شد و به فاز روغنی اضافه گردید. نسبت فاز روغنی به فاز آبی ۷:۲۰۰ بود. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه با یک هموژنایزر با سرعت ۱۱۰۰۰ دور در دقیقه همزده شد تا محصول یکنواختی به دست آید. محصول یکنواخت شده توسط خشک‌کن افشانه‌ای با دمای ورودی و خروجی به ترتیب ۵ ± ۱۵۰ °C و ۵ ± ۷۵ °C خشک شد تا پودر میکروکپسوله β-کاروتن به دست آید. بلافاصله پودر میکروکپسوله β-کاروتن در داخل دسیکاتور قرار گرفت تا سرد شود.

برای مقایسه بازده میکروکپسوله، دو نمونه دیگر با روش فوق تهیه شد با این تفاوت که این نمونه‌ها حاوی ۳.۵٪ و ۵٪ (درصد وزنی)

1- Buchi

ژلاتین نسبت به کل امولسیون بودند.

### اندازه‌گیری درصد β-کاروتن در پودر میکروکپسوله شده

مخلوطی از ۵۰ میلی گرم از پودر میکروکپسوله β-کاروتن در ۲.۵ میلی لیتر آب تهیه شده و ماده رنگزای β-کاروتن موجود در آن با مخلوطی از هگزان نرمال و استون به نسبت (۱:۴) استخراج شد. برای این کار ۲۵ میلی‌لیتر حلال استفاده شد و مخلوط به مدت ۴۰ دقیقه بر روی شیکر همزده شد. استخراج β-کاروتن سه مرتبه تکرار گردید و مواد استخراج شده با یکدیگر مخلوط شد و میزان جذب نور آنها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. میزان جذب محلول در طول موج بیشینه ۳، ۴۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقدار β-کاروتن از طریق منحنی کالیبراسیون به دست آمد. برای رسم منحنی کالیبراسیون ۴ نمونه با غلظت‌های  $۷.۵۰ \times 10^{-5}$ ،  $۱.۴۹ \times 10^{-4}$ ،  $۲.۲۴ \times 10^{-4}$  و  $۲.۹۸ \times 10^{-4}$  مول بر لیتر از β-کاروتن خالص در مخلوط هگزان نرمال و استون (۱:۴) تهیه شد و میزان جذب این محلول‌ها در طول موج بیشینه ۳، ۴۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و منحنی کالیبراسیون با  $r^2=0.99$  رسم شد. تعداد تکرار آزمون‌ها برای اندازه‌گیری درصد β-کاروتن موجود در پودر میکروکپسوله شده ۴ بار بوده است.

### اندازه‌گیری β-کاروتن کپسوله نشده

برای اندازه‌گیری مقدار β-کاروتن کپسوله نشده ۱۰ میلی گرم از پودر میکروکپسوله β-کاروتن به ۵ میلی لیتر از مخلوط هگزان نرمال و استون به نسبت (۱:۴) اضافه شد و به مدت ۱۵ ثانیه تکان داده شد. مخلوط حاصل به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و میزان جذب محلول در طول موج بیشینه  $\lambda_{max}=450,3$  نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان β-کاروتن کپسوله نشده از طریق منحنی کالیبراسیون به دست آمد. تعداد تکرار آزمون‌ها برای اندازه‌گیری درصد β-کاروتن کپسوله نشده ۴ بار بوده است. برای محاسبه بازده میکروکپسوله شدن، نسبت میزان β-کاروتن کپسوله شده به میزان کل β-کاروتن مطابق رابطه ۱ اندازه‌گیری شد.

$$ME = \frac{TB - SB}{TB} \times 100 \quad (1)$$

که در آن TB، مقدار کل β-کاروتن و SB، مقدار β-کاروتن کپسوله نشده می‌باشند.

### محاسبه مقدار حلالیت میکروکپسول در آب سرد

در این تحقیق از روش Singh and Singh [۱۸] برای اندازه‌گیری حلالیت پودر میکروکپسوله شده β-کاروتن در آب استفاده شد. برای این کار ۵۰ میلی گرم از پودر میکروکپسول با ۵ میلی لیتر آب

امولسیون از ۱ روز به بیش از ۱۴ روز افزایش یافت. البته مقدار لسیترین مصرفی در مخلوط حاوی  $\beta$ -کاروتن حد مشخصی دارد و در غلظت‌های بیشتر از ۱٪ نتیجه پایداری امولسیون عکس است و مدت زمان پایداری امولسیون کوتاه‌تر می‌گردد.

برای تهیه میکروکپسول‌های حاوی  $\beta$ -کاروتن از ژلاتین استفاده شد و مخلوطی از  $\beta$ -کاروتن، لسیترین، آب، شکر، ویتامین C، ویتامین E، اسید سیتریک و ژلاتین با یک هم‌وزن‌باز هم‌زده شد تا مخلوط یکنواختی به دست آمد. این مخلوط توسط یک خشک‌کن افشانه‌ای به پودر تبدیل شد. بدین ترتیب پوششی از ژلاتین بر روی  $\beta$ -کاروتن قرار گرفت و میکروکپسول‌های  $\beta$ -کاروتن به دست آمد. اندازه‌گیری بازده میکروکپسوله شدن  $\beta$ -کاروتن نشان داد که افزایش مقدار ژلاتین بر روی بازده میکروکپسوله شدن تأثیرگذار است و با افزایش مقدار ژلاتین بازده میکروکپسوله شدن افزایش می‌یابد. بازده میکروکپسوله شدن  $\beta$ -کاروتن در غلظت‌های ژلاتین ۰٫۲٪، ۰٫۳٪، ۰٫۵٪ و ۰٫۸٪ (نسبت به امولسیون) به ترتیب عبارت بود از ۴۲٫۷٪، ۴۸٫۱٪، ۵۰٫۸٪ و ۵۰٫۸٪.

پس از این که پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن در سه غلظت مختلف ژلاتین تهیه شد، مقدار درصد کل  $\beta$ -کاروتن و  $\beta$ -کاروتن کپسوله نشده اندازه‌گیری شدند. مقدار درصد کل  $\beta$ -کاروتن و  $\beta$ -کاروتن کپسوله نشده و بازده میکروکپسوله شدن برای سه نمونه پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج نشان دادند که درصد کل  $\beta$ -کاروتن در نمونه حاوی ۰٫۲٪ ژلاتین بیشتر از نمونه حاوی ۰٫۳٪ و ۰٫۵٪ ژلاتین است. به هر حال در این نمونه درصد بیشتری از  $\beta$ -کاروتن به صورت کپسوله نشده باقی مانده است و بازده میکروکپسوله شدن کمتری را نشان می‌دهد. برعکس با افزایش درصد ژلاتین در امولسیون، بازده میکروکپسوله شدن به ۵۱٪ افزایش یافته است و درصد  $\beta$ -کاروتن کپسوله نشده به شدت کاهش یافته است. البته این به این معنا نیست که به هر میزان می‌توان مقدار ژلاتین را افزایش داد زیرا با افزایش درصد ژلاتین میزان کل  $\beta$ -کاروتن در پودر کپسوله شده کاهش می‌یابد. باید میزان ژلاتین به اندازه‌ای باشد که درصد کل  $\beta$ -کاروتن موجود در پودر کپسوله شده در محدوده ۱۰-۱ درصد وزنی پودر میکروکپسول (درصد مورد استفاده در صنعت) باقی بماند.

مخلوط شد و به مدت ۳۰ دقیقه در شیکر تکان داده شد. مخلوط حاصل به مدت ۲۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. قسمت فوقانی مخلوط در آون با دمای ۱۱۰ °C به مدت ۴ ساعت قرار داده شد. درصد حلالیت میکروکپسول از طریق رابطه ۲ محاسبه شد:

$$(2) \quad W_1/W_2 \times 100 = \text{درصد حلالیت میکروکپسول در آب}$$

که در آن  $W_1$  وزن جامد در قسمت فوقانی و  $W_2$  وزن اولیه پودر می‌باشد.

### محاسبه درصد رطوبت موجود در پودر میکروکپسول

برای محاسبه میزان رطوبت باقی‌مانده در پودر میکروکپسول، ۰٫۵ گرم از پودر میکروکپسول حاصل از خشک کردن افشانه‌ای به مدت ۴ ساعت در آون با دمای ۸۰ °C قرار داده و کاهش وزن آن محاسبه شد.

### پایداری پودر در آب

برای اندازه‌گیری پایداری پودر میکروکپسول در آب، مخلوط ۵٪ از پودر میکروکپسول در آب تهیه شد و زمان مورد نیاز برای جدایش فازی اندازه‌گیری شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- تهیه پودر میکروکپسول

برای تهیه پودری از ماده رنگزای  $\beta$ -کاروتن با قابلیت امتزاج پذیری در آب و تشکیل امولسیون نسبتاً پایدار به طوری که در سیستم‌های آبی مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد لازم است تا ابتدا یک امولسیون پایداری از  $\beta$ -کاروتن در آب تهیه شود. بدین منظور از لسیترین به عنوان امولسیفایر استفاده شد. لسیترین در غلظت‌های ۰٫۲٪، ۰٫۳٪، ۰٫۵٪، ۱٪ و ۲٪ (درصد وزنی نسبت به کل امولسیون) مورد بررسی قرار گرفت. در غلظت‌های کمتر، امولسیون تشکیل شده در مدت زمان کوتاهی دو فاز می‌گردد. در غلظت‌های بیشتر لسیترین، پایداری امولسیون بیشتر بود به طوری که با افزایش مقدار لسیترین از ۰٫۲٪ به ۱٪ زمان پایداری

جدول ۱: مقدار درصد کل  $\beta$ -کاروتن و  $\beta$ -کاروتن کپسوله نشده و بازده میکروکپسوله شدن برای دو نمونه پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن.

شماره	ژلاتین <sup>a</sup> (%)	کل $\beta$ -کاروتن <sup>b</sup> (%)	$\beta$ -کاروتن کپسوله نشده <sup>b</sup> (%)	بازده میکروکپسوله شدن (%)
نمونه ۱	۲٫۲	۲٫۹۱±۰٫۰۶	۱٫۶۶±۰٫۰۴	۴۲٫۷
نمونه ۲	۳٫۵	۲٫۳۱±۰٫۰۷	۱٫۱۹±۰٫۰۹	۴۸٫۱
نمونه ۳	۵	۱٫۶۰±۰٫۰۵	۰٫۷۹±۰٫۰۳	۵۰٫۸

a: درصد ژلاتین نسبت به کل امولسیون، b: نتایج ذکر شده میانگین ۴ بار اندازه‌گیری می‌باشد.

### ۲-۳- میکروسکوپ نوری

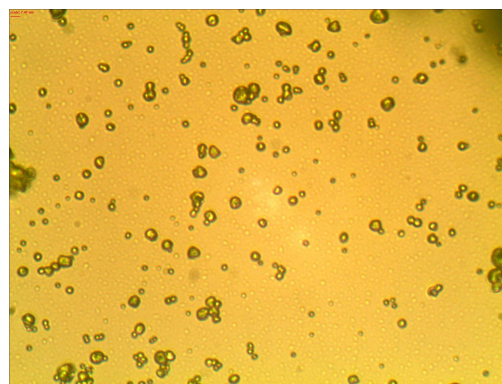
تصویر به دست آمده از میکروسکوپ نوری برای پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن نمونه ۱ در بزرگنمایی  $600\times$  در شکل ۱ نشان داده شده است. تشکیل میکروکپسول‌ها در این شکل به خوبی مشاهده می‌شود. کپسول‌های تهیه شده دارای شکل تقریباً کروی بوده و ژلاتین به عنوان یک ماده پوشش دهنده بر روی  $\beta$ -کاروتن قرار گرفته است.

### ۳-۳- میکروسکوپ الکترونی (SEM)

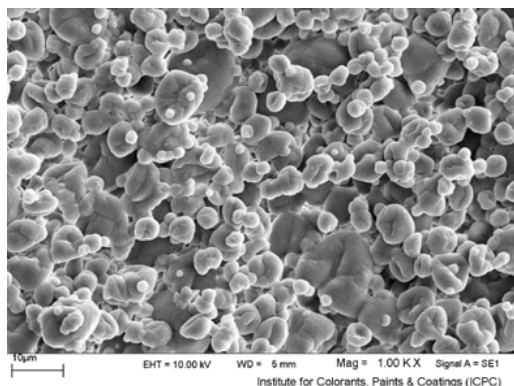
تصاویر به دست آمده از SEM برای پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن نمونه ۱ در بزرگنمایی‌های  $1000\times$  و  $3000\times$  در شکل ۲ آمده است. ذرات دارای ساختار کروی می‌باشند که در آنها فرورفتگی‌های کوچکی دیده می‌شود. این فرورفتگی‌ها حاصل چروک شدن و انقباض ذرات در طول فرآیند خشک شدن است [۱۹]. برای رسیدن به یک شکل کروی با سطح کاملاً صاف می‌توان از موادی با جرم مولکولی پایین در تهیه ماده پوشش دهنده استفاده کرد که این مواد کوچک مولکول نقش نرم‌کننده را ایفا می‌کنند و باعث جلوگیری از دندان‌های شدن سطح و صاف‌تر شدن سطح ذرات می‌شوند [۲۰]. شکر می‌تواند به عنوان یک ماده کوچک مولکول نقش نرم‌کننده را ایفا کند و همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود ذرات بیشتر دارای شکل کروی هستند و کمتر حالت دندان‌های دارند.

### ۴-۳- توزیع اندازه ذرات امولسیون

توزیع اندازه ذرات در امولسیون تهیه شده از  $\beta$ -کاروتن، قبل از اسپری شدن و تبدیل شدن به پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن، در شکل ۳ نشان داده شده است. نمودار توزیع اندازه ذرات تک قله ای می‌باشد و از ۰٫۲ تا ۹۰ میکرون تغییر می‌کند. میزان یکنواختی برابر ۱٫۳ می‌باشد. متوسط اندازه ذرات ۲٫۸۳ میکرون است. این توزیع اندازه ذرات و ریز بودن قطرات امولسیون نشان می‌دهد که امولسیون دارای پایداری نسبتاً خوبی است.



شکل ۱: تصویر میکروسکوپ نوری برای پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن نمونه ۱ با بزرگنمایی  $600\times$

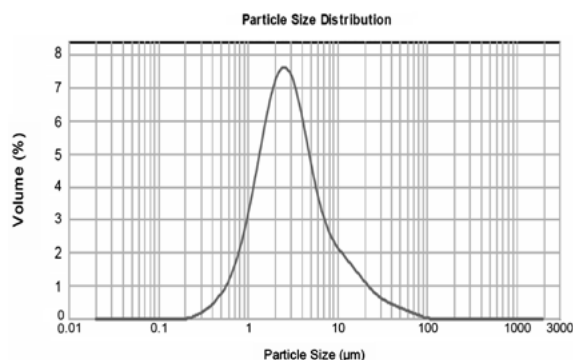


الف



ب

شکل ۲: تصاویر SEM برای پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن نمونه ۱ در بزرگنمایی‌های (الف)  $1000\times$  و (ب)  $3000\times$ .



شکل ۳: توزیع اندازه ذرات امولسیون  $\beta$ -کاروتن.

### ۵-۳- حلالیت در آب سرد

درصد حلالیت پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن در آب سرد برابر ۷۳٪ بود. این حلالیت نسبتاً بالا وابسته به ساختار کپسول‌ها و نوع ماده پوشش دهنده می‌باشد. شکر دارای حلالیت بالایی در آب است و یکی از دلایل مصرف شکر در ماده پوشش دهنده علاوه بر بهبود فرآیند میکروکپسوله کردن (شکر با تشکیل یک ساختار بلوری شبیه شیشه

## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله پودر  $\beta$ -کاروتن میکروکپسوله شده توسط ژلاتین تهیه شد و خواص مختلف آن از قبیل بازده میکروکپسوله شدن، اندازه ذرات، پایداری در آب، درصد رطوبت و ریخت‌شناسی ذرات مورد بررسی قرار گرفت. کپسوله کردن  $\beta$ -کاروتن با این روش باعث حفاظت بهتر  $\beta$ -کاروتن می‌شود و سرعت اکسید شدن آن را در برابر عوامل محیطی کاهش می‌دهد. پودر تهیه شده به این روش با توجه به قابلیت انحلال پذیری در آب می‌تواند در ترکیبات آبی در صنایع غذایی به عنوان یک رنگ و یا یک ماده افزودنی مغذی مورد استفاده قرار گیرد. پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن تهیه شده دارای پایداری خوبی در آب بود. غلظت  $\beta$ -کاروتن در نمونه مناسب بوده و قابلیت استفاده برای مصارف صنعتی را دارا است. حلالیت نمونه در آب سرد بالا است. نمونه دارای بازده میکروکپسوله شدن نسبتاً پایینی بود که به علت بالا بودن نسبت  $\beta$ -کاروتن به ماده کپسوله‌کننده برای رسیدن به یک درصد قابل قبول از لحاظ صنعتی از  $\beta$ -کاروتن در پودر کپسوله شده می‌باشد. طبق آزمایش‌های انجام شده میزان بازده میکروکپسوله شدن با افزایش ماده پوشش‌دهنده نسبت به  $\beta$ -کاروتن افزایش می‌یابد. توزیع اندازه ذرات امولسیون نشان می‌دهد که امولسیون تهیه شده دارای مایسل‌های بسیار ریزی می‌باشد که به آن پایداری خوبی بخشیده است. تصاویر میکروسکوپ نوری به خوبی تشکیل میکروکپسول‌ها را نشان می‌دهد. طبق بررسی نمونه‌ها با SEM ذرات دارای ساختار کروی با سطح نسبتاً صاف و حالت دندان‌های کمی می‌باشند.

به تشکیل میکروکپسول‌ها کمک می‌کند [۲۱] این است که سازگاری پودر کپسوله شده را با آب افزایش می‌دهد. ژلاتین هم دارای حلالیت نسبتاً خوبی در آب است و در آب داغ به طور کامل حل می‌شود. در نتیجه استفاده از مخلوط شکر و ژلاتین به عنوان ماده پوشش‌دهنده باعث حلالیت نسبتاً بالای پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن در آب می‌شود.

## ۳-۶- درصد رطوبت

درصد رطوبت موجود در پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن برابر ۰.۸۸٪ بود. تقریباً هیچ رطوبتی در پودر باقی نمانده است و آب به طور کامل تبخیر شده است. رطوبت پایین میکروکپسول‌ها نشان دهنده این است که سرعت خشک شدن نمونه بالا است و مخلوط ژلاتین و شکر به سرعت خشک می‌شود. همچنین درصد رطوبت پایین میکروکپسول‌ها مانع از کاهش دمای انتقال شیشه‌ای به واسطه حضور آب می‌شود، در نتیجه تحرک مولکولی کم شده و منجر به حفاظت بهتر  $\beta$ -کاروتن می‌شود [۲۲].

## ۳-۷- پایداری پودر در آب

پراکنه تهیه شده از پودر کپسوله شده  $\beta$ -کاروتن در آب به مدت ۱۴ روز پایدار بود و هیچگونه ته نشینی و دو فاز شدن در نمونه‌ها مشاهده نشد. این نتایج حاکی از پایداری امولسیون تهیه شده و انتخاب صحیح امولسیفایر می‌باشد که می‌تواند پس از پراکنده شدن پودر در آب مجدداً یک امولسیون پایدار را تشکیل دهد.

## ۵- مراجع

1. M. M. V. Naves, F. S. Moreno, Beta-carotene and cancer chemoprevention: From epidemiological association to cellular mechanisms of action. *Nutr. Res.* 18(1998), 1807-1824.
2. R. Edge, D. J. McGarvey, T. G. Ruscott, The carotenoids as antioxidants - A review. *J. Photochem. Photobiol. B.* 41(1997), 189-200.
3. C. L. Rock, Carotenoids: Biology and treatment. *Pharmacol. Ther.* 75(1997), 185-197.
4. D. Albanes, Beta-carotene and lung cancer: A case study. *Am. J. Clin. Nutr.* 69(1999), 1345-1350.
5. J. G. Erhardt, C. Meisner, J. C. Bode, C. Bode, Lycopene, beta-carotene and colorectal adenomas. *Am. J. Clin. Nutr.* 78(2003), 1219-1224.
6. G. S. Omenn, G. E. Goodman, M. D. Thornquist, Effects of a combination of beta-carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease. *N. Engl. J. Med.* 334(1996), 1150-1155.
7. K. Ax, H. Schubert, K. Briviba, G. Rechkemmer, M. Tevini, Oil-in water emulsions as carriers of bioavailable carotenoids. In PARTEC Processing, Nuremberg. 2001, 27-29.
8. C. Socaciu, Food Colorants: chemical and functional properties. CRC Press Taylor & Francis Group, New York. 2008, 51-71.
9. B. F. Gibbs, S. Kermash, I. Alli, C. N. Mulligan, Encapsulation in the food industry: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 50(1999), 213-224.
10. H. Korhonen, Technology options for new nutritional concepts. *Int. J. Dairy Technol.* 55(2002), 79-88.
11. F. Shahidi, X. Q. Han, Encapsulation of food ingredients. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 33(1993), 501-547.
12. P. Vilstrup, Microencapsulation of food ingredients. Leatherhead Publishing, England. 2001, 48-81.
13. R. Matsuno, S. Adachi, Lipid encapsulation technology - Techniques and applications to food. *Trends Food Sci. Technol.* 4(1993), 256-261.
14. J. Imagi, T. Yamanouchi, K. Okada, M. Tanimoto, R. Matsuno, Properties of agents that effectively entrap liquid lipids. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 56(1992), 477-480.
15. N. Wilson, N. P. Shah, Microencapsulation of vitamins. *Asian Food J.* 14(2007), 1-14.

16. S. A. Desobry, F. M. Netto, T. B. Labuza, Comparison of spray-drying, drum drying and freeze-drying for (1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -carotene encapsulation and preservation. *J. Food Sci.* 62(1997), 1158–1162.
17. S. Guin, Micro-encapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends Food Sci. Technol.* 15(2004), 330–347.
18. J. Singh, N. Singh, Studies on the morphological and rheological properties of granular cold water soluble corn and potato starches. *Food Hydrocolloids.* 17 (2003), 63–72.
19. M. Rosenberg, I. J. Kopelman, Y. Talmon, Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *J. Agric. Food. Chem.* 50(1990), 139–144.
20. Z. Y. Zhang, Q. N. Ping, B. Xiao, Microencapsulation and characterization of tramadol–resin complexes. *J. Controlled Release.* 66 (2000), 107–113.
21. A. Gharsallaoui, G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley, R. Saurel, Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res. Int.* 40 (2007), 1107–1121.
22. J. Velasco, C. Dobarganes, G. Márquez-Ruiz, Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils. *Grasas Aceites.* 54(2003), 304-314.