

## مقایسه ویژگی‌های ریزکپسول‌های روغن سبوس برنج تهیه شده با خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی

بی بی مرضیه رضوی زاده<sup>1\*</sup>، فائزه خان محمدی<sup>2</sup>، سید ناصر عزیزی<sup>3</sup>

- 1- استادیار گروه شیمی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی\*  
نویسنده مسئول (m.razavizadeh@rifst.ac.ir)
- 2- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده شیمی، دانشگاه مازندران
- 3- استاد گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه مازندران

### چکیده

تاریخ دریافت: 92/03/05  
تاریخ پذیرش: 93/03/28

واژه‌های کلیدی  
خشک‌کن انجمادی  
خشک‌کن پاششی  
روغن سبوس برنج  
ریزپوشانی

ریزپوشانی روغن سبوس برنج با استفاده از صمغ عربی و کنسانتره پروتئینی آب پنیر به عنوان مواد دیواره به دو روش خشک کردن پاششی و انجمادی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور امولسیون آب در روغن حاوی 4 درصد روغن سبوس برنج در محلول آبی حاوی 20 و 25 درصد ترکیب کل مواد دیواره به کمک اولتراتوراکس تهیه شد. کمترین اندازه قطرات (0/36 میکرومتر) در امولسیون با ترکیب دیواره حاوی 100 درصد صمغ عربی و بیشترین اندازه قطرات (0/96 میکرومتر) برای امولسیون با ترکیب دیواره حاوی 100 درصد کنسانتره پروتئینی آب پنیر بدست آمد و در نسبت‌های متفاوت از این دو ماده تشکیل دهنده دیواره، اندازه قطرات مقادیری بین این دو عدد داشتند. اندازه قطرات و گرانروی امولسیون‌های تهیه شده حاکی از آن بود که پایداری امولسیون‌های تهیه شده تحت تأثیر غلظت و نوع مواد دیواره هستند. همچنین نوع روش خشک کردن امولسیون نه تنها بر اندازه میکروکپسول‌های تهیه شده، بلکه بر راندمان ریزپوشانی و میزان بازداری روغن درون کپسول نیز مؤثر بودند. نتایج نشان داد که بیشترین راندمان ریزپوشانی در غلظت 60 درصد صمغ عربی در ترکیب دیواره (مجموع صمغ و کنسانتره پروتئینی آب پنیر) حاصل شد که عبارت بود از 90 درصد به روش خشک‌کن پاششی و 68 درصد به روش خشک‌کن انجمادی. از میان دو روش خشک کردن، ریزکپسول‌های تهیه شده با خشک کردن پاششی ضمن حفظ ساختار منظم کرومی، میزان بازداری بیشتری از روغن را در طول دوره نگهداری نشان دادند.

### مقدمه

خوراکی روغن سبوس به ویژه تأثیرات قابل توجه آن در کاهش کلسترول و تری‌گلیسرید، گرایش روزافزونی برای مصرف آن ایجاد شده است. از سوی دیگر وجود ترکیبات باارزش در این روغن از جمله ویتامین E و گاما اوریزانول، کاربردهای این روغن در فرمولاسیون‌های مختلف مواد آرایشی و بهداشتی و نیز داروسازی را فراهم ساخته است (Xu et al., 2001).

سبوس برنج محصول جانبی صنعت برنج است و بیشتر برای تولید روغن و تا حدودی به عنوان خوراک دام استفاده می‌شود. سبوس برنج حدود 10 درصد وزنی هر دانه شلتوک را شامل می‌شود و حاوی 15 تا 20 درصد روغن (Sasaki et al., 1990) است. امروزه درصد بالایی از روغن سبوس برنج برای مصارف خوراکی استفاده می‌شود. با توجه به تأیید مصرف

جامد ذرت به دلیل دارا بودن تنوع و قیمت ارزان و به علاوه خصوصیات نظیر ویسکوزیته پایین در غلظت‌های بالا و حلالیت مطلوب، در سیستم‌های ریزپوشانی به وفور استفاده می‌گردند (Mutka *et al.*, 1988).

صمغ عربی مهم‌ترین صمغی است که در سیستم ریزپوشانی ترکیبات مولد طعم و بو به عنوان دیواره مورد استفاده قرار می‌گیرد. حلالیت مطلوب، گرانی و پایداری، خصوصیات امولسیون‌کنندگی و ظرفیت نگهداری بالای ترکیبات فرار و قطرات چربی توسط این صمغ باعث گردیده تا در بسیاری از فرآیندهای ریزپوشانی مورد توجه باشد (Shiga *et al.*, 2001). پروتئین‌های غذایی نظیر کازئینات سدیم، پروتئین آب پنیر و ایزوله پروتئین سویا هم به عنوان ترکیب دیواره در ریزپوشانی به کار می‌روند (Kim *et al.*, 1996) دارا بودن گروه‌های عاملی مختلف، خصوصیات دوگانه‌دوستی، توانایی خود تجمعی و خود ساختارسازی و برهمکنش با انواع گوناگونی از ترکیبات، وزن مولکولی بالا و انعطاف پذیری زنجیره مولکولی پروتئین‌ها سبب شده است تا خصوصیات کارکردی مطلوبی نظیر حلالیت، گرانی و امولسیون‌کنندگی و تشکیل لایه را پیدا کنند و از همین روی در فرآیند ریزپوشانی مورد توجه قرار گرفته‌اند (Dickinson, 2001; Dalglish, 1997). پروتئین‌های آب پنیر از خصوصیات عملکردی ویژه‌ای برخوردار هستند. این ویژگی‌ها سبب شده که از آنها به عنوان یک ترکیب مناسب برای دیواره کپسول‌ها نامبرده شود. استفاده از پروتئین‌های آب پنیر در ریزپوشانی توسط محققین زیادی گزارش شده است. علاوه بر پروتئین‌های آب پنیر به تنهایی، مخلوط این پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها نیز به عنوان دیواره ریزکپسول در فرآیند ریزپوشانی ترکیبات فرار مورد استفاده قرار گرفته است (Rosenberg *et al.*, 1996; Rosenberg *et al.*, 1997). در چنین سامانه‌هایی، پروتئین‌های آب پنیر به عنوان عامل امولسیون‌کننده و تشکیل دهنده لایه و کربوهیدرات‌ها (مالتودکسترین، شربت ذرت و یا پلی‌ساکاریدهای مختلف) به عنوان ماده تشکیل دهنده شبکه و

بسیاری از ترکیبات فعال نظیر آنتی‌اکسیدان‌ها که چربی دوست هستند و به فرم مایع وجود دارند، باید از اثرات محیطی محافظت شوند (Gibbs *et al.*, 1999) که یکی از روش‌های نگهداری آنها ریزپوشانی<sup>1</sup> است. ریزپوشانی تکنیکی است که در آن به کمک یک یا چند ماده، ترکیب مورد نظر به دام افتاده و پوشش داده می‌شود. تکنولوژی ریزپوشانی از دهه 1950 آغاز گردیده و امروزه توسعه زیادی یافته است و در صنایع مختلف نظیر داروسازی، صنایع شیمیایی و غذایی و چاپ کاربردهای فراوانی پیدا کرده است (Augustin *et al.*, 2001). روغن‌ها و چربی‌ها، ترکیبات مولد طعم و بو، اولئورزین‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی، ترکیبات رنگی و آنزیم‌ها از جمله موادی هستند که در فرآورده‌های غذایی ریزپوشانی شده‌اند.

فرآیند ریزپوشانی ترکیبات معمولاً شامل دو مرحله است: ابتدا یک امولسیون از ماده فعال مانند ترکیبات مولد طعم و بو بر پایه چربی، در یک محلول سنگین‌تر (ماده دیواره)، مانند یک پلی‌ساکارید یا پروتئین تولید می‌شود و سپس فرآیند خشک کردن انجام می‌گیرد. طی سال‌های اخیر، صنایع غذایی پیشرفت‌های زیادی در بهره‌گیری از ترکیبات متفاوت، روش‌های فرآوری و مواد مورد استفاده در بسته‌بندی به منظور افزایش مدت زمان نگهداری ترکیبات مولد طعم و بو و توزیع مناسب آنها داشته است (Minemoto *et al.*, 1999). پایداری ماتریکس‌ها (دیواره‌ها) یک شرط مهم برای حفظ ترکیبات مولد طعم و بو محسوب می‌شود. عوامل متعددی نظیر جنس ماده دیواره (Imagi *et al.*, 1992)، نسبت هسته به دیواره (Minemoto *et al.*, 1999) روش ریزپوشانی و شرایط نگهداری (Minemoto *et al.*, 1997) بر پایداری و حفظ ترکیب ریزپوشانی شده در مقابل اکسیداسیون مؤثر هستند.

در تکنیک ریزپوشانی از انواع مختلف کربوهیدرات‌ها غالباً به عنوان ماده دیواره یا حامل استفاده می‌شود (McNamee *et al.*, 1998). کربوهیدرات‌هایی نظیر صمغ‌ها (صمغ عربی، صمغ آکاسیا و ...)، انواع نشاسته، مالتودکسترین‌ها، شربت

انجمادی خصوصیات مطلوب‌تری نسبت به پودر بدست آمده از دیگر روش‌های مورد مطالعه از جمله خشک کردن پاششی داشت. Heinzen (2002) نیز ریزپوشانی روغن ماهی را با روش خشک کردن انجمادی انجام داد و ملاحظه کرد که مقاومت روغن در برابر اکسیداسیون به میزان چشمگیری افزایش یافته بود. از سوی دیگر، Najafi و همکاران (2011) ابقا و ماندگاری روغن هل در میکروکپسول‌های تهیه شده از نشاسته اصلاح شده و پودر شیر خشک چربی گرفته شده را به روش‌های خشک کردن پاششی و خشک کردن انجمادی مطالعه کردند. آنها دریافتند که ابقای ماده معطر هل در پودرهای حاصل از خشک‌کن انجمادی کم و مستقل از ترکیب دیواره می‌باشد در حالی که در میکروکپسول‌های بدست آمده از خشک‌کن پاششی به میزان بالایی به نوع و درصد مواد دیواره بستگی دارد. همچنین مشاهدات میکروسکوپی نشان داد که خصوصیات ریزساختار پودرها تحت تأثیر مواد دیواره و فرایند خشک کردن می‌باشد.

نظر به گرایش‌های موجود در استفاده از روغن سبوس برنج در فرمولاسیون‌های غذایی، دارویی و بهداشتی و نیز نبود مطالعات بر ریزپوشانی این روغن با مواد مختلف به عنوان دیواره، نیاز به انجام تحقیقاتی در این زمینه جهت فراهم سازی اطلاعات اساسی و به کارگیری آنها در فرمولاسیون‌های مورد نظر ضروری می‌نماید. از این رو در این مقاله به بررسی ریزپوشانی روغن سبوس برنج از طریق تشکیل نانو امولسیون روغن در آب (O/W) با صمغ عربی و کنسانتره پروتئینی آب پنیر به عنوان مواد دیواره پرداخته شده است. هدف از این تحقیق مقایسه برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ریز کپسول‌های روغن سبوس برنج پوشش داده شده با این مواد دیواره است که با دو تکنیک خشک کردن پاششی و انجمادی بدست آمده‌اند.

### مواد و روش‌ها

#### مواد

روغن سبوس برنج از زرین تالیا (تایلند) و صمغ عربی (AG) (دانسیته=  $1/4 \text{ g/cm}^3$ )، سوربیتان منو 9-

لایه‌های بعدی ایفای نقش می‌کنند (Rosenberg *et al.*, 1996).

روش‌های زیادی برای ریزپوشانی اجزای غذایی وجود دارد. خشک کردن پاششی یکی از رایج‌ترین و متداول‌ترین روش‌های ریزپوشانی است که از اواخر دهه 1950 تاکنون برای طیف وسیعی از مواد از جمله اسانس‌ها، اجزای غذایی فراویژه و دارویی، ترکیبات معطره و روغن‌های با مصارف خاص به کار می‌رود (Beristain *et al.*, 1996). اساس ریزپوشانی به روش خشک کردن پاششی شامل تهیه امولسیون روغن در آب ماده هسته و پاشش آن در هوای گرم محفظه خشک‌کن می‌باشد. با تبخیر حلال، قطرات هسته در شبکه جامدی از ماده دیواره گرفتار شده و به این ترتیب ریزکپسول‌ها تشکیل می‌شوند. نظر به این که زمان خشک کردن در این فرآیند کوتاه است، دمای هسته چندان افزایش نمی‌یابد، بنابراین می‌توان برای ریزپوشانی اجزای حساس به حرارت از آن استفاده کرد.

از دیگر تکنیک‌های ریز پوشانی، خشک کردن انجمادی است. این تکنیک نیز فرایند آبیگری است که با انجماد مواد و سپس کاهش فشار محیط سبب می‌شوند تا آب منجمد شده در ماده مستقیماً از فاز جامد به فاز گازی تصعید گردد. فرایند کامل خشک کردن انجمادی شامل چهار مرحله می‌باشد که عبارت از پیش آماده‌سازی، انجماد، خشک کردن اولیه، و خشک کردن ثانویه است (Abdelwahed *et al.*, 2006). در پایان عملیات مقدار آب باقیمانده نهایی حدود 1 تا 4 درصد است. در این تکنیک طعم و عطر و دیگر مواد مغذی عمدتاً بدون تغییر می‌مانند (Desobry *et al.*, 1997; Kaushik, 2007). از آن جایی که خشک کردن انجمادی به ماده آسیب کمتری وارد می‌سازد نسبت به دیگر روش‌های آبیگری که در دمای بالاتر کار می‌کنند این مسئله یک مزیت به شمار می‌رود. به عنوان نمونه، Buffo و Reineccius (2001) روش‌های مختلف خشک کردن از جمله انجمادی، پاششی و غلطکی را برای ریزپوشانی روغن حاصل از پرس سرد پرتقال والنسیا با صمغ عربی و نشاسته اصلاح شده بررسی و مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که پودر حاصل از روش خشک کردن

یخچال نگهداری گردیدند، pH کلیه محلول‌ها با استفاده از اسیدکلریدریک 0/1 نرمال در نقطه 5/5 تنظیم شد و برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها و فعالیت میکروبی در طول دوره نگهداری به میزان 200 پی‌پی‌ام سدیم آزاید به آنها افزوده شد. سپس به این مخلوط‌ها امولسیفایر توپین 80 به میزان 2 درصد وزنی-وزنی اضافه گردید. آنگاه روغن سبوس برنج با نسبت 4 درصد وزنی-وزنی قطره قطره، به مخلوط افزوده شد. مخلوط‌های به دست آمده بلافاصله بعد از نیم ساعت هم خوردن با همزن مغناطیسی، با اولتراتورکس Ultra-Turrax IKA (T25، آلمان) در دو مرحله که هر یک به مدت 5 دقیقه به طول انجامید، در سرعت‌های 12000 دور در دقیقه و 21000 دور در دقیقه هم‌وزنیزه شدند. از هر نمونه امولسیون دو دسته تهیه شد تا تحت هر یک از روش‌های خشک‌کن پاششی و نیز خشک‌کن انجمادی پودر شوند. لازم به ذکر است که کلیه اندازه‌گیری‌ها در دو تکرار انجام شدند.

اكتادكنونات (توپین 80) از شرکت سیگما آلدریج (آلمان) تهیه شدند. اتانول و n-هگزان و 2-پروپانول از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند. کنسانتره پروتئینی آب پنیر (پروتئین 35/28 درصد، خاکستر 5/99 درصد، رطوبت 3/63 درصد) هدیه‌ای از شرکت صنایع غذایی مولتی دنون (مشهد، ایران) بود. سایر مواد شیمیایی مورد نیاز با درجه خلوص بالا از شرکت مرک (آلمان) تهیه شدند. برای تهیه و آماده‌سازی کلیه محلول‌ها از آب دیونیزه استفاده گردید.

### روش‌ها

#### تهیه امولسیون

محلول صمغ عربی و کنسانتره پروتئینی آب پنیر (WPC) در نسبت‌های مختلف و با غلظت‌های کلی (ترکیب دیواره) 20 و 25 درصد وزنی-وزنی در آب دیونیزه تهیه شدند (جدول 1). عملیات هم زدن و تهیه محلول‌ها در مدت یک ساعت و به کمک همزن مغناطیسی انجام گرفت و سپس محلول‌های تهیه شده برای حداکثر جذب آب به مدت 24 ساعت در دمای

جدول 1- تیمارها و نسبت‌های اختلاط مواد دیواره برای تشکیل امولسیون آب در روغن سبوس برنج

درصد ترکیب دیواره (مجموع صمغ و پروتئین)	نسبت صمغ به پروتئین	درصد صمغ به ترکیب دیواره
	0:20	0
	10:10	50
20 درصد	12:8	60
	16:4	80
	20:0	100
	0:25	0
	10:15	40
25 درصد	15:10	60
	20:5	80
	25:0	100

نرم افزار دستگاه، گرانروی نمونه‌ها در دمای 25 درجه سانتی‌گراد محاسبه گردید.

#### اندازه‌گیری قطر و سطح مخصوص

به کمک دستگاه سنجش اندازه ذره (مدل Analysette 22، شرکت Fritsch، آلمان) قطر متوسط، توزیع اندازه و سطح مخصوص قطرات امولسیون اندازه‌گیری شد. قطر ذرات توسط دستگاه و بر اساس

#### اندازه‌گیری گرانروی

برای سنجش گرانروی ظاهری نمونه‌های امولسیون از گرانروی‌سنج چرخشی بروکفیلد (مدل DV-III Ultra، شرکت بروکفیلد، امریکا) استفاده شد. برای این منظور از محفظه مخصوص نمونه‌های کم حجم، دوک شماره 18 و سرعت چرخش 100 دور در دقیقه استفاده گردید و با کمک

تبدیل شدند (Klinkesorn *et al.*, 2005; Kaushil, 2007).

#### محتوای رطوبت

محتوای رطوبت پودرها به روش وزنی از طریق خشک کردن در آون (BINDER, FP53, آلمان) تحت دمای 102 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت تعیین گشت (Adamiec, 2006)

#### استخراج روغن سطحی و روغن کل از پودرها

برای تعیین روغن سطحی 8 میلی‌لیتر هگزان به یک گرم پودر افزوده شد و مخلوط با شیکر (مدل KA MS 3 basic, آلمان) برای دو دقیقه هم زده شد و سپس در سانتریفیوژ (مدل HERMLE, Z36HK, آلمان) به مدت 20 دقیقه با سرعت 8000 دور در دقیقه قرار داده شد. محلول حاصل با کاغذ صافی (Rundfilter MN 615, آلمان) صاف شد و آنگاه حلال موجود در 70 درجه سانتی‌گراد تبخیر شد و روغن حاصل در دمای 50 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید (Klinkesorn, 2006).

برای استخراج روغن کل، به 0/5 گرم پودر حاصل، مخلوط (ایزوپروپانول/هگزان به نسبت 1:3) افزوده شد. 5 دقیقه با شیکر هم زده شده، و سپس 20 دقیقه با دور 8000 سانتریفیوژ شد و بعد از آن فاز آلی شفاف جدا شده و در دمای 70 درجه سانتی‌گراد، حلال آن تبخیر شد و تا رسیدن به وزن ثابت این عمل ادامه یافت (Jimenez, 2004).

راندمان ریزپوشانی (EE) از معادله (1) محاسبه شد (Wang *et al.*, 2006).

معادله (3)

$$100 \times \frac{\text{کل روغن-سطحی روغن}}{\text{کل روغن}} = \text{درصد ریزپوشانی راندمان}$$

میزان ابقای روغن ریز پوشانی شده درون کپسول (روغن سطحی - روغن کل) در طی زمان نگهداری مطابق با معادله (4) محاسبه گردید:

معادله (4)

$$\text{درصد ابقای روغن درون کپسول} = \frac{\text{روغن ریز پوشانی شده در زمان (t)}}{\text{روغن ریز پوشانی شده در زمان (0)}} \times 100$$

تئوری می از روی پراکنش اشعه لیزر و مطابق با معادله (1) محاسبه شد که بر حسب عدد قطر سطح-حجم با نماد  $D_{3,2}$  نمایش داده می‌شود. در این معادله  $n_i$  تعداد ذرات با قطر  $d_i$  است. سطح مخصوص ذرات  $SSA$  (نیز بر حسب متر مربع بر میلی‌لیتر از روی قطر متوسط  $d$  محاسبه شد (McClements, 1999; Jafari, *et al.*, 2008).

معادله (1)

$$D_{3,2} = \frac{\sum n_i d_i^3}{\sum n_i d_i^2}$$

معادله (2)

$SSA = 6 / D_{3,2}$   
برای سنجش اندازه و سطح مخصوص ذرات پودرهای حاصل از خشک‌کن پاششی یا خشک‌کن انجمادی ابتدا دیسپرسیون آنها در 10 میلی‌لیتر اتانول تهیه گردید و سپس مطابق توضیح فوق عمل شد (Partanen *et al.*, 2005).

#### ریزپوشانی و خشک کردن امولسیون با استفاده از خشک‌کن پاششی

نمونه‌های امولسیون تهیه شده با استفاده از یک خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی (مدل B190, شرکت Büchi, سوئیس) با دمای ورودی  $180 \pm 10$  درجه سانتی‌گراد، دمای خروجی  $90 \pm 10$  درجه سانتی‌گراد، سرعت خوراک‌دهی 10 میلی‌لیتر بر دقیقه و سرعت جریان هوای 600 لیتر در ساعت و فشار 4 بار خشک شدند. به منظور جلوگیری از جذب رطوبت، پودرهای حاصله تا زمان انجام آزمایشات فیزیکوشیمیایی در داخل دسیکاتور و در دمای اتاق دور از نور مستقیم نگهداری گردیدند.

#### ریزپوشانی و خشک کردن امولسیون با استفاده از خشک‌کن انجمادی

امولسیون‌های تهیه شده در دمای 20- درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت منجمد شده و سپس به مدت 48 ساعت در دستگاه خشک‌کن انجمادی (EHRSA, آلمان) در دمای 50- درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. امولسیون‌های خشک شده برای آزمایشات بعدی به وسیله هاون چینی به پودر نرم

### تعیین ساختار ریزکپسول‌ها

برای مشاهده ساختار پودرهای تهیه شده، از میکروسکوپ الکترونی با وضوح بالا (مدل هیتاچی FE SEM S-4160، ژاپن) استفاده شد. نمونه‌ها به وسیله دستگاه پوشش‌دهنده (مدل BIO-RAD Sc50، انگلیس) با لایه‌ای از طلا پوشیده شدند. سپس از سطح خارجی نمونه‌های آماده سازی شده در ولتاژ 15 کیلوولت و بزرگنمایی 2000 برابر تصویر برداری شد.

### محاسبات آماری

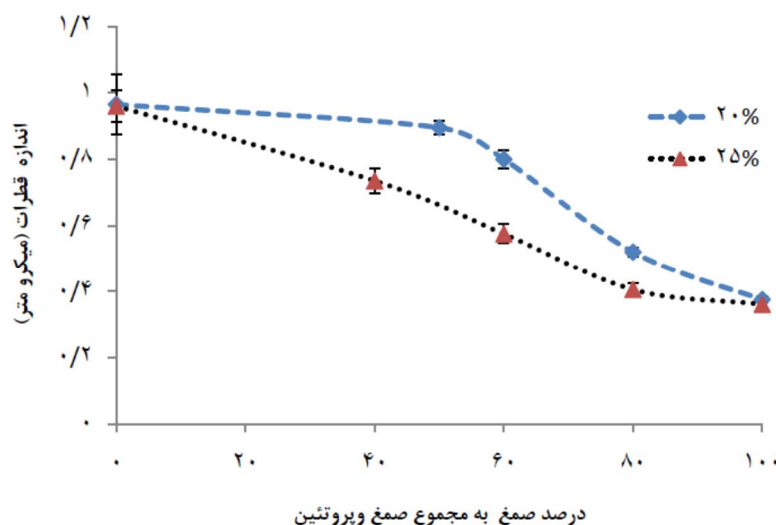
آزمایش‌ها بر اساس طرح کاملاً تصادفی و در قالب فاکتوریل صورت پذیرفتند. در این طرح با توجه به دو نوع ماده دیواره در پنج نسبت مختلف از یکدیگر و دو غلظت از کل ترکیب ماده دیواره در چهار زمان نگهداری (برای امولسیون) و نیز دو روش خشک کردن در سه زمان نگهداری (برای پودر) در دو تکرار تیمارهای مختلف بدست آمد. آنالیز داده‌ها با استفاده

از نرم افزار SAS نسخه 9 به روش ANOVA تجزیه و تحلیل شد و مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ( $P < 0/05$ ) و با برنامه مدل خطی (GLM) انجام گردید.

### نتایج و بحث

#### امولسیون روغن در آب

از دو ماده صمغ عربی و کنسانتره پروتئینی آب پنیر به عنوان ترکیب دیواره در نسبت‌های مختلف برای پوشاندن قطرات روغن سبوس برنج استفاده شد. اندازه قطرات امولسیون یک عامل مهم در تعیین خصوصیات امولسیون از جمله بررسی ثبات امولسیون می‌باشد. اندازه قطرات از طریق محاسبه قطر متوسط قطره که با نماد  $d_{32}$  (مطابق با معادله 1) نمایش داده می‌شود، بلافاصله پس از تولید اندازه‌گیری شد.



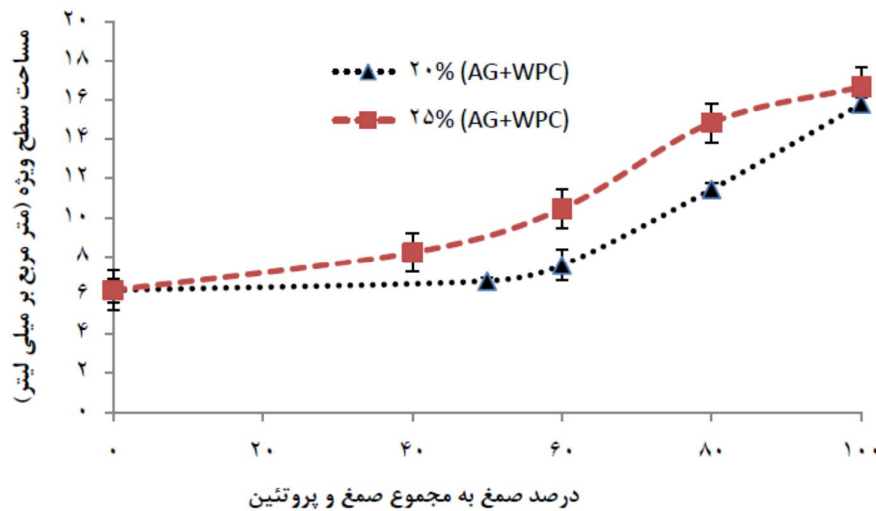
شکل 1- تأثیر غلظت صمغ و میزان ترکیب دیواره (20 درصد و 25 درصد) بر میانگین اندازه قطرات امولسیون

گویچه‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت. لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که امولسیون‌های تهیه شده با صمغ عربی نسبت به پروتئین خالص دارای اندازه قطرات کوچک‌تر و یکنواخت‌تری می‌باشند. چنان که در شکل 1 ملاحظه می‌شود نسبت‌های اختلاط همگی در توزیع اندازه قطرات مؤثر بودند. همچنین مشخص گردید که تأثیر غلظت مواد دیواره در تمامی امولسیون‌های تولیدی بر روی سطح مخصوص قطرات

شکل 1 تغییرات میانگین اندازه قطرات را در مقابل تغییرات ترکیب (صمغ یا پروتئین و یا ترکیبی از آنها) و میزان ماده دیواره نمایش می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که ترکیب و میزان ماده دیواره به جز در غلظت خالص هر یک از مواد دیواره به طور معنی‌داری بر قطر متوسط قطرات تأثیر دارند ( $P < 0/05$ ). به طور کلی با افزایش نسبت اختلاط صمغ عربی به عنوان جایگزینی برای WPC قطر

سطح قطره، خصوصیات شکل‌پذیری و برهمکنش داخل مولکولی در فصل مشترک روغن-آب مربوط باشد.

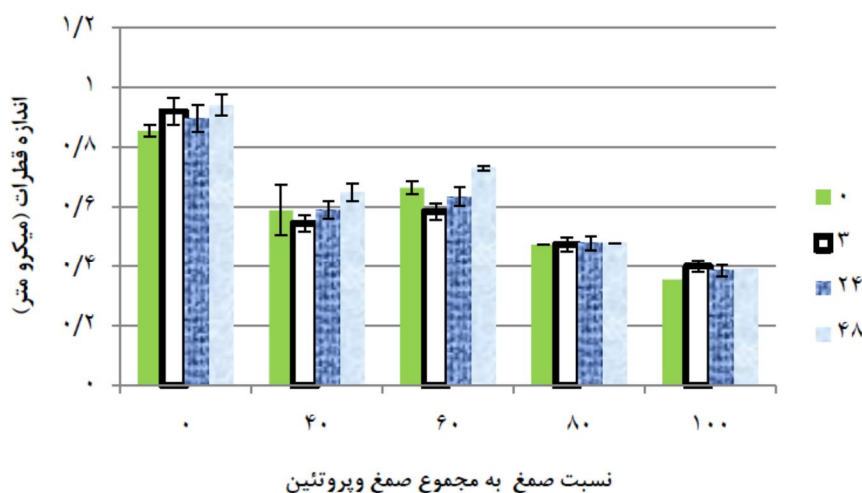
کاملاً معنی‌دار بود (شکل 2). این مطلب ممکن است به تفاوت خصوصیات امولسیون‌کنندگی این دو ماده از قبیل فعالیت سطحی آنها، سرعت جذب سطحی در



شکل 2- تأثیر غلظت صمغ و میزان ترکیب دیواره (20 درصد و 25 درصد) بر سطح مخصوص قطرات امولسیون

اندازه قطرات امولسیون علاوه بر زمان صفر (بلافاصله بعد از تهیه) در زمان‌های 3، 24 و 48 ساعت پس از تهیه امولسیون نیز اندازه‌گیری شد. شکل 3 نمودار تغییرات اندازه قطرات امولسیون را بر حسب غلظت‌های مختلف صمغ عربی به ترکیب دیواره در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد.

افزایش قطر در طی نگهداری نشان دهنده وقوع پدیده‌های ناپایداری از جمله تجمع، به هم پیوستن و در هم آمیختن قطرات است که از نظر رئولوژیکی وقوع این پدیده‌ها معمولاً با کاهش گرانشی و از نظر ظاهری با رونشینی و شکست امولسیون همراه است. به منظور بررسی پایداری امولسیون‌های تهیه شده قبل از خشک کردن آنها و تهیه پودر میکروکپسول،



شکل 3- تأثیر مدت زمان نگهداری (ساعت) بر متوسط اندازه قطرات امولسیون

( $P > 0/05$ ). دلیل پایداری به علت نقش مواد دیواره است. اگر چه WPC به عنوان عامل امولسیون کننده و تشکیل دهنده لایه نقش خود را ایفا می‌کند، اما صمغ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان‌های نگهداری امولسیون تا 24 ساعت نسبت به زمان صفر به طور معنی‌داری بر قطر متوسط قطرات تأثیر ندارند

مقادیر گرانیروی اندازه‌گیری شده برای امولسیون‌ها در جدول 2 تأیید کننده این ادعا می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس مشخص کرد که افزایش غلظت صمغ تأثیر معنی‌داری بر روی افزایش گرانیروی امولسیون‌ها دارد ( $P < 0/05$ ). همان‌گونه که از جدول 2 پیداست با افزایش غلظت در تمامی فرمولاسیون‌ها گرانیروی امولسیون‌ها افزایش یافت. می‌توان گفت که افزایش گرانیروی موجب کاهش حرکت ذرات شده و در نتیجه تعداد برخورد ذرات به یکدیگر کمتر می‌شود و از شدت بهم آمیختن قطرات کاسته می‌گردد. بنابراین، گرانیروی فاز پیوسته نقش مهمی در تثبیت امولسیون دارد (Ibanoglu, 2002).

عربی که تشکیل دهنده شبکه و لایه‌های سه بعدی می‌باشد نیز پایدار کننده امولسیون می‌باشد. هیدروکلونیدها با اصلاح خصوصیات رئولوژیکی فاز آبی امولسیون‌ها به پایداری آنها کمک می‌کنند و از برهم‌کنش بین ذرات فاز پراکنده (روغن) و رونسینی و به هم آمیختن قطرات امولسیون جلوگیری می‌کنند (Dickinson, 2003). با افزوده شدن هیدروکلونیدها به امولسیون به علت داشتن وزن مولکولی بالا، حرکت قطرات را کاهش داده و باعث گرانیروی بیشتر امولسیون و تشکیل شبکه‌های سه بعدی در فاز پیوسته می‌شوند (Glicksman, 1982).

جدول 2- مقایسه خصوصیات امولسیون روغن و مواد دیواره

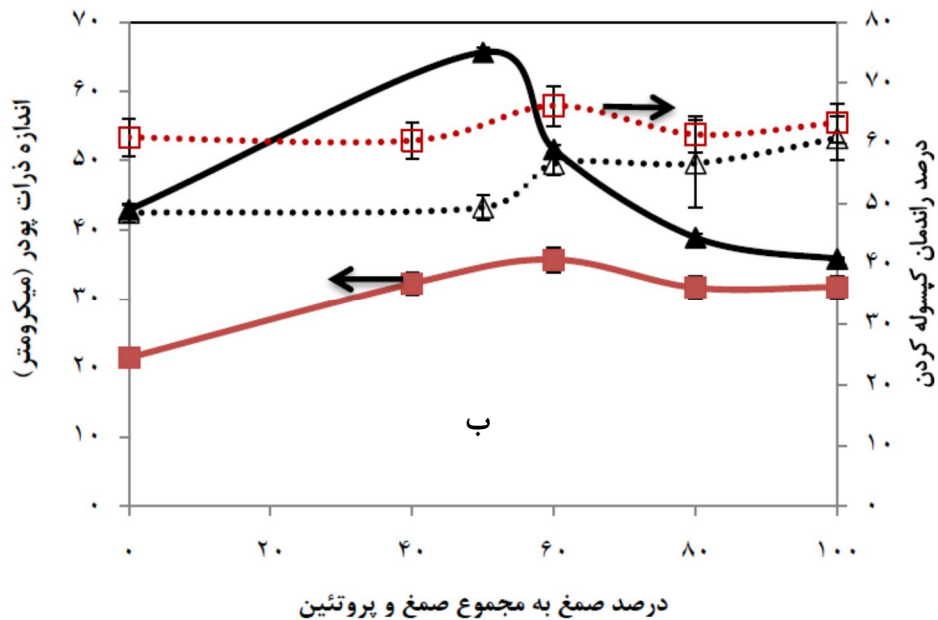
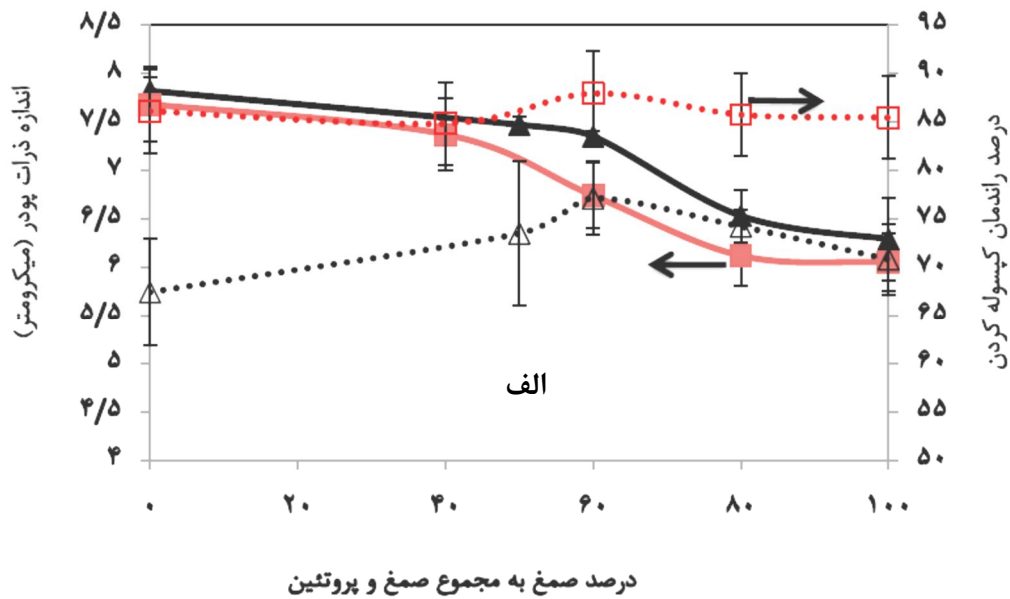
درصد ترکیب دیواره (مجموع صمغ و پروتئین)	درصد صمغ به ترکیب دیواره	گرانیروی (میلی پاسکال ثانیه)	درصد رطوبت پودر خشک‌کن انجمادی	درصد رطوبت پودر خشک‌کن پاششی
0	0	4/58 ± 0/028	2/79 ± 0/32	2/74 ± 0/13
50	50	28/19 ± 0/5940	1/61 ± 0/09	0/10 ± 0/01
20 درصد	60	35/81 ± 0/7437	1/97 ± 0/10	1/44 ± 0/01
80	80	63/79 ± 0/4525	1/81 ± 0/18	0/99 ± 0/05
100	100	83/69 ± 0/4101	2/92 ± 0/41	1/66 ± 0/15
0	0	15/25 ± 0/3536	3/96 ± 0/50	0/3 ± 0/04
40	40	59/095 ± 1/2799	2/17 ± 0/34	0/10 ± 0/02
25 درصد	60	197/48 ± 0/6788	0/84 ± 0/19	0/046 ± 0/02
80	80	287/47 ± 0/6647	0/58 ± 0/09	2/48 ± 0/14
100	100	428/86 ± 0/6435	1/12 ± 0/65	2/10 ± 0/23

#### تهیه میکروکپسول‌ها

از دو روش خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی برای خشک کردن امولسیون‌ها و تهیه میکروکپسول‌های پودری حاوی روغن سیبوس برنج استفاده گردید. اندازه‌های بدست آمده از پودرهای خشک‌کن پاششی و انجمادی بیانگر آن است که قطر پودرهای بدست آمده از خشک‌کن انجمادی بزرگترند و تا 60 میکرومتر می‌رسند و پودرهای خشک‌کن

پاششی کوچک‌تر بوده و اندازه حدود 4 تا 8 میکرومتر دارند (شکل 4). با توجه به این که انجماد اولیه قبل از خشک‌کن انجمادی باعث تجمع قطرات امولسیون و پیوستگی آنها به یکدیگر می‌شود، لذا کپسول‌های بدست آمده نهایی از این روش نیز اندازه بزرگتر دارند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع و غلظت دیواره بر اندازه ذرات پودر مؤثر بوده و باعث ایجاد تغییرات معنی‌دار در اندازه پودرها شدند.





شکل 4- تغییرات اندازه پودر کپسوله شده و راندمان کپسوله کردن به روش الف) خشک کن پاششی، ب) خشک کن انجمادی در غلظت‌های مختلف صمغ عربی و غلظت دیواره: (▲، △) 20 درصد، (■، □) 25 درصد

نسبت به نمونه‌های دارای WPC بودند. با تغییر غلظت کل ترکیب دیواره از 20 به 25 درصد، اندازه ذرات پودرهای ریزپوشانی شده با صمغ عربی و WPC کاهش یافت. این نتیجه مشابه روندی است که در اندازه قطرات امولسیون نیز (شکل 1) مشاهده شد. نتایج همچنین نشان دادند که اندازه ذرات پودر حاصل از خشک‌کن پاششی بسیار کمتر از پودر حاصل از خشک‌کن انجمادی است. این امر می‌تواند مربوط

اثر غلظت صمغ عربی و WPC بر اندازه ذرات پودرهای حاصله و نیز راندمان ریزپوشانی روغن سبوس برنج حاصل از دو روش خشک‌کن پاششی و انجمادی در شکل 4 رسم شده‌اند. نتایج نشان داد که نوع و غلظت ماده دیواره به طور معنی‌داری اندازه و سطح مخصوص پودرهای حاصل را تحت تأثیر قرار می‌دهد ( $P < 0/05$ ). ذرات حاصل از خشک کردن امولسیون‌های تهیه شده با غلظت‌های مختلف صمغ عربی دارای ابعاد کوچک‌تر و سطح مخصوص بزرگتری

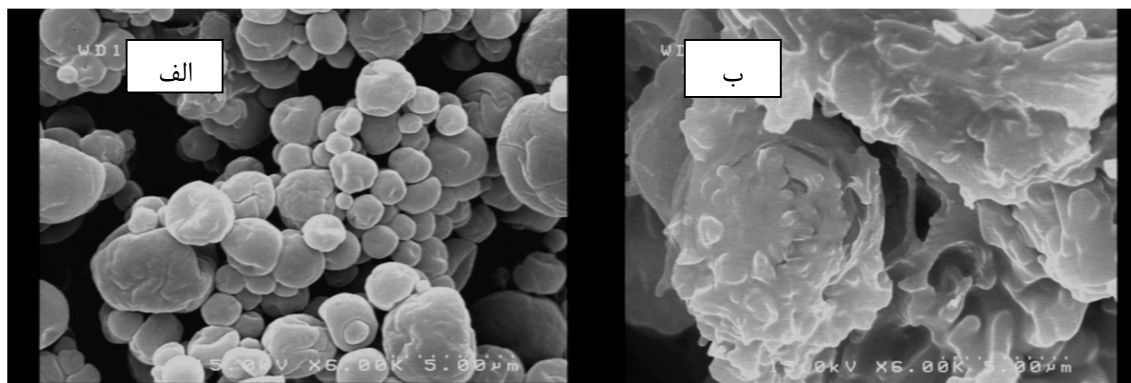
عنوان ماده دیواره نیز مصداق داشت. با توجه به شکل مشخص گردید که غلظت‌های بالاتر صمغ عربی و WPC توانایی بیشتری در نگهداری روغن نسبت به غلظت‌های کمتر داشتند.

رطوبت پودرهای حاصل از خشک کردن امولسیون به دو روش خشک کردن پاششی و خشک کردن انجمادی نیز در جدول 2 ارائه شده است. اگر چه روند منظمی میان مقادیر رطوبت سنجیده شده با ترکیب دیواره و نیز غلظت‌های مختلف صمغ در ترکیب دیواره مشاهده نمی‌شود، اما به نظر می‌رسد مخلوط هر دو ماده در دیواره یعنی صمغ و WPC نسبت به حالتی که هریک از این دو ماده به تنهایی در دیواره به کار می‌روند، مقدار رطوبت بیشتری را هنگام خشک شدن از دست می‌دهند.

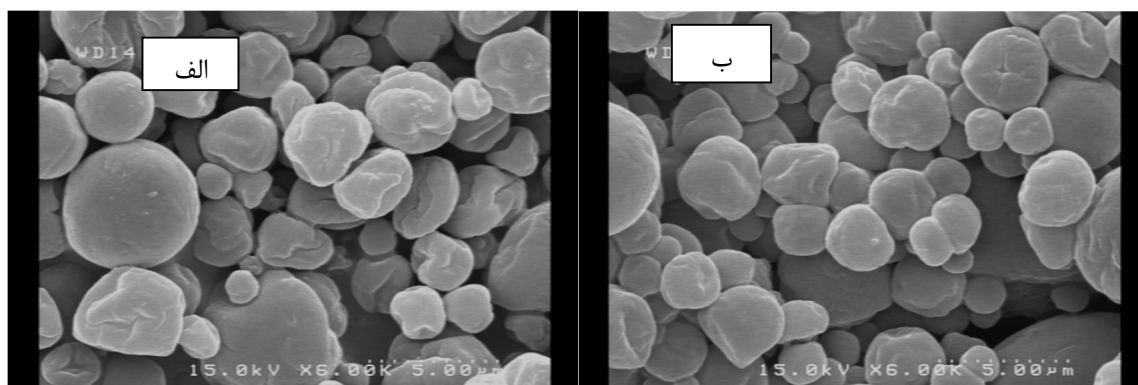
هم‌چنین ملاحظه می‌شود که به طور کلی رطوبت پودر حاصل از روش خشک کردن پاششی کمتر از رطوبت پودر بدست آمده از روش خشک کردن انجمادی است. این امر احتمالاً به دلیل تفاوت در مکانیزم حذف آب در هر یک از دو روش است که علاوه بر ساختار ریز کپسول تهیه شده، بر ظرفیت نگهداری آب و لذا میزان رطوبت نهایی پودر اثرگذار خواهد بود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) از ریز کپسول‌های تهیه شده با دو روش خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی نشان می‌دهند که با خشک‌کن پاششی پودرهایی با ساختار کروی بدست می‌آید در حالی که پودرهای حاصل از خشک‌کن انجمادی ساختاری شیشه‌ای شکل و نامنظم دارند (شکل 5). ریز ساختار نامتقارن پودر خشک‌کن انجمادی احتمالاً به علت محتوی بالای رطوبت (جدول 2) پودرهای بدست آمده می‌باشد. ساختار نامتقارن پودرهای خشک‌کن انجمادی و ساختارهای کروی مانند پودرهای خشک‌کن پاششی در فرآیند از دست دادن آب، مولکول‌های به دام افتاده را از اکسیژن و گرما محافظت می‌کنند (Roos, 1995). اگرچه که ساختار نامتقارن پودر حاصله از خشک‌کن انجمادی می‌تواند بر راندمان ریزپوشانی و به ویژه بر بازداري روغن در درون کپسول نیز مؤثر باشد که به این مطلب در قسمت بعدی اشاره خواهد شد.

به تشکیل یک شبکه بین مواد اضافی دیواره و افزایش ضخامت لایه اطراف روغن باشد.

از نمودارهای شکل 4 (الف و ب) مشاهده می‌شود که راندمان ریزپوشانی در روش خشک‌کن پاششی نسبت به روش خشک‌کن انجمادی بیشتر است. بیشترین راندمان ریز پوشانی با خشک‌کن پاششی 90 درصد و با خشک‌کن انجمادی 68 درصد در غلظت 60 درصد صمغ عربی در ترکیب دیواره، بدست آمد. اگرچه نتایج آماری حاکی از آن بود که راندمان ریزپوشانی نسبت به تغییرات غلظت صمغ در هر یک از دو روش فوق تفاوت معنی‌داری نشان نمی‌دهد. بررسی تأثیر غلظت صمغ عربی و WPC بر مقدار روغن ریزپوشانی شده در ریز کپسول‌های تولیدی (شکل 4) نشان داد که با افزایش غلظت مواد دیواره، مقدار روغن بیشتری در ریز کپسول‌ها باقی ماند. یعنی ریزکپسول‌هایی که در دیواره‌های آنها از 25 درصد صمغ عربی و WPC استفاده گردید از قدرت پوشش بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها برخوردار بودند ( $P < 0/05$ ). این امر به این دلیل است که غلظت بالاتر ماده دیواره، سرعت تشکیل لایه نیمه تراوا را در سطح قطرات روغن افزایش می‌دهد و در نتیجه مقدار روغنی که در داخل این پوشش قرار نگرفته است، کاهش می‌یابد (Thijssen *et al.*, 1968)، هم‌چنین افزایش غلظت مواد دیواره می‌تواند کانال نفوذ مواد فرار به خارج از دیواره را طولانی‌تر کرده و در نتیجه سبب کندی حرکت آن‌ها و در نتیجه موجب تأخیر در خروج مواد فرار می‌شود. Menting و همکاران (1976) پیشنهاد کردند که ترکیبات فرار قبل از این که پوسته پیرامون ذرات تشکیل شود می‌توانند ذرات را ترک کنند. این امر ممکن است در همان مراحل اولیه خشک کردن صورت گیرد. قابل ذکر است که کاهش ترکیبات فرار ریزپوشانی شده به دلیل توانایی این ترکیبات در عبور از میان پوسته نیز ممکن است صورت پذیرد. در چنین حالتی این ترکیبات می‌توانند با انتشار در مواد جامد دیواره و یا عبور از میان حفرات یا کانال‌ها خارج شوند. لذا غلظت مواد جامد دیواره و دمای خشک کردن بسیار حائز اهمیت است چراکه تأثیر بسزایی بر تشکیل لایه محافظ دارد. این قاعده در خصوص دو ترکیب استفاده شده در این تحقیق به



شکل 5- تصاویر SEM از ریز ساختار کپسول‌های حاوی 20 درصد غلظت دیواره و نسبت 60 درصد صمغ به ترکیب دیواره بدست آمده از دو روش (الف) خشک‌کن پاششی و (ب) خشک‌کن انجمادی (مقیاس: 5/00  $\mu\text{m}$ )



شکل 6- تصاویر SEM از ریز ساختار کپسول‌های حاوی 25 درصد غلظت دیواره و نسبت‌های (الف) 100 و (ب) 60 درصد صمغ به مجموع صمغ و پروتئین بدست آمده از روش خشک‌کن پاششی (مقیاس: 5/00  $\mu\text{m}$ )

می‌باشد که موجب توازن نامناسب بین گروه‌های آب دوست و آب گریز آن شده است. همچنین دنا توره شدن و تغییرات ساختاری WPC در هنگام امولسیفیکاسیون و فرایند خشک شدن نیز ممکن است در این مسأله مؤثر باشد و این در حالی است که مولکول‌های صمغ عربی از مقاومت بیشتری در برابر حرارت، pH و سایر عوامل محیطی نظیر قدرت یونی امولسیون‌های اولیه برخوردار هستند (Avadi *et al.*, 2010; Mirhosseini *et al.*, 2008).

از سویی دیگر اندازه قطرات امولسیون‌های تهیه شده را می‌توان دلیل دیگر این تفاوت دانست. به نظر می‌رسد ابعاد مولکولی نقش مهمی در از دست رفتن روغن بر عهده دارند چون به شکل مستقیم با انتشار مولکولی در ارتباط هستند. به طور کلی ترکیبات فرار در امولسیون‌های با قطرات کوچک‌تر نسبت به آنهایی که اندازه بزرگ‌تر دارند، بهتر باقی می‌مانند و به همین ترتیب ترکیبات فرار آسان‌تر از قطرات درشت‌تر امولسیون تبخیر می‌گردند (Soottitantawata *et al.*,

تصاویر تهیه شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) (شکل 6) نشان داد که میکروکپسول‌های تهیه شده از مخلوط صمغ عربی با WPC به روش خشک کردن پاششی دارای چروکیدگی کمتری نسبت به صمغ عربی بودند و از این رو انتظار می‌رفت که میزان نگهداری اولئورزین در این میکروکپسول‌ها نسبت به صمغ عربی بیشتر باشد؛ اما نتایج بدست آمده (شکل 4) نشان داد که WPC دارای توانایی کمتری جهت نگهداری روغن می‌باشد. این مطلب ممکن است به قابلیت امولسیون کنندگی کمتر این ترکیب نسبت به صمغ عربی مربوط گردد. صمغ عربی دارای خصوصیات امولسیون کنندگی بالایی می‌باشد و به همین دلیل قابلیت تشکیل لایه بهتری را در سطح مشترک روغن-آب در امولسیون دارد و می‌تواند مقدار روغن بیشتری را در خود نگهداری نماید در حالی که کنسانتره پروتئین آب پنیر ویژگی‌های امولسیون کنندگی ضعیف‌تری دارد و این احتمالاً به دلیل توالی خاص اسیدهای آمینه پروتئین‌های آن

نظر می‌رسد ابعاد مولکولی نقش تعیین کننده‌ای را در دست رفتن ترکیبات مولد طعم و بوی ریز پوشانی شده ایفا می‌کند. بدین صورت که قطرات درشت نسبت سطح به حجم کمتری دارند که در نتیجه بایستی طعم و بو در آنها بهتر باقی بماند اما با توجه به این که زمان طولانی‌تری برای تشکیل پوسته در اطراف این قطرات در فرایند خشک شدن لازم است؛ این تأخیر زمانی موجب افت بیشتر مواد فرار می‌گردد (Young *et al.*, 1993). به طور کلی، ترکیبات مولد طعم و بو در امولسیون‌های با قطرات ریزتر بهتر باقی می‌مانند و مقدار روغن سطحی ریز کپسول‌های تهیه شده از آنها کمتر است، Sootitawata و همکاران (2005) نیز مشابه نتایج بدست آمده در این تحقیق، گزارش کردند که اندازه ذرات پودر به تنهایی تأثیر معنی‌داری بر روغن باقی مانده و روغن سطحی ندارد و عوامل دیگری نظیر اندازه قطرات امولسیون نیز نقش مهمی دارد. همچنین میزان فراریت و حلالیت ترکیبات مولد طعم و بو بر میزان روغن باقی مانده و روغن سطحی ریز کپسول‌ها تأثیر دارد (Sootitawata *et al.*, 2003).

مقایسه روش خشک کردن بر ویژگی‌های پودر (شکل، اندازه ذرات و رطوبت آنها) نشان داد که نمونه‌های تهیه شده به روش خشک کردن پاششی ضمن این که از شکل کروی برخوردار بوده و دارای رطوبت کمتری بودند، نسبت به پودر حاصل از خشک کردن انجمادی (بی‌شکل و نامتقارن) راندمان ریزپوشانی بالاتری داشتند و مقدار روغن بیشتری را درون خود نگه داشتند. لازم به توضیح است که رطوبت پودر بر روی نفوذ پذیری دیواره نسبت به خروج و انتشار روغن داخل ریز کپسول به سطح آن مؤثر است و هرچه مقدار آن کمتر باشد میزان بیشتری روغن درون ریز کپسول باقی خواهد ماند.

#### نتیجه‌گیری

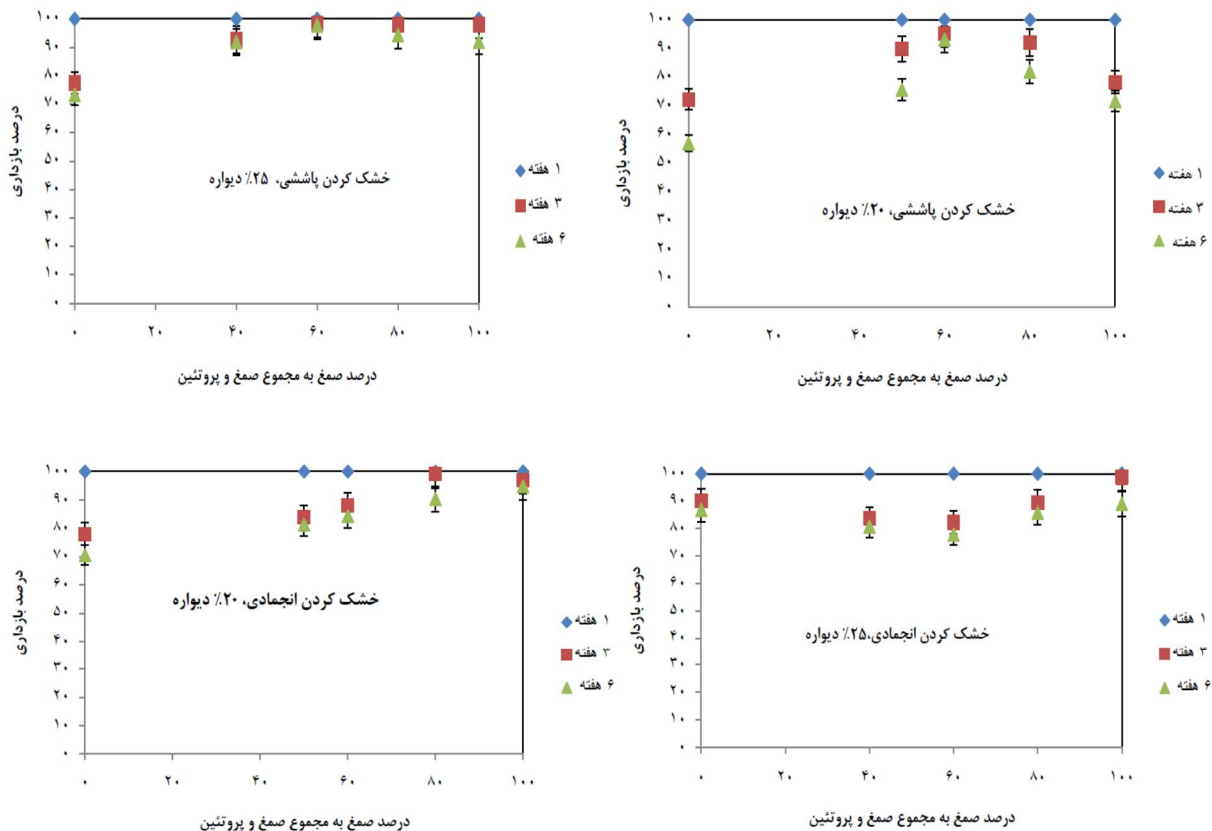
بررسی ریزپوشانی روغن سیوس برنج با دو روش خشک کردن پاششی و انجمادی و با استفاده از صمغ عربی و پروتئین کنسانتره آب پنیر نشان داد میزان ریزپوشانی و نیز درصد بازداری کپسول نه تنها به غلظت و نوع مواد دیواره، بلکه به روش یا فرایند

(2005). فراریت بیشتر و قابلیت حل شدن بالاتر ترکیبات فرار ممکن است سبب افزایش میزان خروج آنها از داخل ریز کپسول‌ها در طی فرایند خشک شدن گردد (Sootitawata *et al.*, 2003). نتایج بدست آمده در این تحقیق نیز مشخص کرد که در غلظت‌های یکسان از ماده دیواره، امولسیون‌های تهیه شده با صمغ عربی از قطرات کوچک‌تر و توزیع اندازه قطرات یکنواخت‌تری نسبت به WPC برخوردار بودند.

نفوذ روغن ریزپوشانی شده به سطح ریز کپسول که تحت عنوان روغن سطحی نامیده می‌شود پدیده نامطلوبی است که موجب اکسیداسیون روغن می‌شود. از این رو بررسی این خصوصیت ریز کپسول‌ها و مقدار روغن باقی‌مانده در درون کپسول از اهمیت زیادی برخوردار است. بازداری کپسول‌ها<sup>1</sup> تحت عنوان میزان روغن نگهداری شده توسط دیواره در درون کپسول‌ها در طی زمان مشخصی بیان می‌شود. در این تحقیق بازداری کپسول‌های تهیه شده از دو روش خشک‌کن پاششی و انجمادی در طی شش هفته نگهداری تعیین شدند. شکل 7 نمودار تغییرات بازداری روغن را در طی زمان نگهداری در مقابل تغییرات غلظت و نوع ماده دیواره برای دو روش خشک کردن پاششی و خشک کردن انجمادی نشان می‌دهد. غلظت ماده دیواره تأثیر معنی‌داری بر میزان بازداری روغن داشت و با افزایش غلظت ماده دیواره بر میزان بازداری روغن از ریز کپسول‌ها افزوده شد. بررسی نوع ماده مورد استفاده در تشکیل دیواره نیز مشخص کرد که با افزایش میزان WPC نسبت به صمغ عربی در فرمولاسیون دیواره، مقدار روغن باقی مانده درون کپسول کاهش یافت. این امر می‌تواند به دلیل دناتوراسیون و تغییرات ساختاری پروتئین‌های آب پنیر در حین امولسیون شدن و شرایط حرارتی در خشک کردن باشد که باعث کاهش توانایی این ترکیب در نگهداری روغن پوشش داده شده می‌گردد، در حالی که نتایج مشخص کرد صمغ عربی نسبت به شرایط ذکر شده از مقاومت بیشتری برخوردار بوده است. مقداری از خروج روغن به سطح ریز کپسول‌ها می‌تواند تحت تأثیر اندازه قطرات امولسیون باشد. به

راندمان ریزپوشانی و نیز میزان بازداری روغن مؤثر باشد. لذا، علاوه بر روش خشک کردن امولسیون، اندازه قطرات امولسیون روغن در فاز آبی و هم چنین ویژگی‌های پودرهای بدست آمده (شکل، اندازه ذرات و رطوبت آنها) از خشک کردن امولسیون از دیگر عوامل مؤثر بر میزان ریزپوشانی و بازداری روغن سبوس برنج است.

ریزپوشانی نیز بستگی دارد. اگر چه به لحاظ وزنی مقدار تبدیل امولسیون به پودر خشک آن از روش خشک کردن انجمادی بیشتر از خشک کردن پاششی است، اما در وزن معینی از پودر حاصله از هریک از دو روش، درصد ریزپوشانی و میزان بازداری روغن به روش خشک کردن پاششی بیشتر بود. ساختار نامتقارن پودر حاصله از خشک کن انجمادی، که ناشی از رطوبت بالاتر آن در این تکنیک است، می‌تواند بر



شکل 7- مقایسه بازداری روغن درون کپسول تهیه شده به دو روش خشک کردن پاششی و خشک کردن انجمادی در طی 6 هفته نگهداری

## منابع

- 1- Abdelwahed, W., Degobert, G., Stainmesse, S., & Fessi. H. 2006. Freeze-drying of nanoparticles: formulation, process and storage considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 58: 1688–1713.
- 2- Adamiec, J., & Kalemba D. 2006. Analysis of microencapsulation ability of essential oils during spray drying. *Drying Technology*, 24: 1127–1132.
- 3- Augustin, M.A., Sanguansri, L., Margetts, C., & Young, B. 2001. Microencapsulation of food ingredients. *Food Australia*, 53: 220–223.
- 4- Avadi, M. R., Mir Mohammad Sadeghi, A., Mohammadpour, N., Abedin, S., Atyabi, F., Dinarvand, R., & Rafiee-Tehrani, M. 2010. Preparation and characterization of insulin nanoparticles using chitosan and arabic gum with ionic gelation method. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 6 (1): 58–63.
- 5- Beristain, C.I., Vazquez, A., Garcia, H.S., & Vernon-Carter, E.J. 1996. Encapsulation of orange peel oil by co-crystallization. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 29: 645-647.
- 6- Buffo, R.A., & Reineccius, G.A. 2001. Comparison among assorted drying processes for the encapsulation of flavors. *Perfumer and Flavorist*, 26: 58–67.
- 7- Bylaite, E., Venskutonis, P. R., & Mazdzieriene, R. 2001. Properties of caraway (*Carum carvi* L.) essential oil encapsulated into milk protein- based matrices. *European Food Research Technology*, 212: 661-670.
- 8- Dalglish, D.G. 1997. Adsorption of proteins and the stability of emulsions. *Trends in Food Science and Technology*, 8: 1–6.
- 9- Desobry, S. A., Netto, F. M., & Labuza, T. P. 1997. Comparison of Spray-drying, drum-drying and freeze-drying for b-carotene encapsulation and preservation. *Journal of Food Science*, 62 (6): 1158-1162.
- 10- Dickinson, E. 2001. Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology. *Colloids Interfaces B.*, 20: 197–210.
- 11- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17: 25–39.
- 12- Druaux, C., & Voilley, A. 1997. Effect of food composition and microstructure on volatile flavor release. *Trends in Food Science and Technology*, 8: 364-368.
- 13- Gibbs, B.F., Kermasha, S., Alli, I., & Mulligan, C.N. 1999. Encapsulation in the food industry. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 50: 213–224.
- 14- Glicksman, M., 1982. *Food Hydrocolloids*. Vol I. CRC Press Inc.
- 15- Goubet, I., Le Quere, J. L., & Voilley, A. 1998. Retention of aroma compounds by carbohydrates: influence of their physicochemical characteristics and of their physical state. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, 48: 1981-1990.
- 16- Heinzen, C. 2002. Microencapsulation solve time dependent problems for food makers. *European Food and Drink Review*, 3: 27-30.
- 17- Huang, X., Kakuda, Y., & Cui, W. 2001. Hydrocolloids in emulsion: particle size distribution and interface activity, *Food Hydrocolloids*, 15: 533-542.

- 18- Ibanoglu, E. 2002. Rheological behavior of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum arabic. *Journal of Food Engineering*, 52: 273-277.
- 19- Imagi, J., Muraya, K., Yamashita, D., Adachi, S., & Matsuno, R. 1992. Retarded oxidation of liquid lipids entrapped in matrixes of saccharides or protein. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 56: 1236-1240. 20.
- 20- Jafari, S. M., He, Y., & Bhandari, B. 2007. Effectiveness of encapsulating biopolymers to produce sub-micros by high energy emulsification techniques. *Food Research International*, 40: 862- 873.
- 21- Jafari, S. M., Assadpoor, E., Bhandari, B., & He, Y. 2008. Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Research International*, 41: 172-183.
- 22- Jimenez, M.; García, H. S.; & Beristain, C. I. 2004. Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid. *European Food Research and Technology*, 219: 588-592.
- 23- Kim, Y.D., & Morr, C.V. 1996. Microencapsulation properties of gum arabic and several food proteins: spray dried orange oil emulsion particles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44: 1314-1320.
- 24- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., A.Decker, E., & McClements, D. J. 2005. Encapsulation of emulsified tuna oil in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. *Food Hydrocolloids*, 19:1044-1053.
- 25- Klinkesorn, U., Sophanodora, P., Chinachoti, P., A.Decker, E., & McClements, D. J. 2006. Characterization of spray- dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition. *Food Research International*, 39: 449-457.
- 26- Kaushik, V., & Roos, Y.H. 2007. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum arabic-sucrose-gelatin systems. *LWT- Food Science and Technology*, 40:1381-1391.
- 27- Lee, S. J., & Rosenberg, M. 2000. Preparation and some properties of water- insoluble, whey protein-based microcapsules. *Journal of Microencapsulation*, 17: 29-44.
- 28- McClements, D. J., 1999. In F. M. Clydesdale (Ed.), *Food emulsions, contemporary food science*. Washinton, DC7, CRC Press.
- 29- McNamee, B.F., O'Riordan, E.D., & O'Sullivan, M. 1998. Emulsification and microencapsulation properties of gum arabic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 4551-4555.
- 30- Menting, L. C., & Hoogstad, B., 1967. Volatiles retention during the drying of aqueous carbohydrate solutions. *Journal of Food Science*, 23 (1): 87-90.
- 31- Minemoto, Y., Adachi, S., & Matsuno, R. 1997. Comparison of oxidation of menthyl linoleate encapsulated with gum arabic by hot-air-drying and freeze drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45: 4530-4534.
- 32- Minemoto, Y., Adachi, S., & Matsuno, R. 1999. Autoxidation of linoleic acid encapsulated with polysaccharides of differing weight ratio. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 63: 866-869.

- 33- Mirhosseini, H., Tan C.P., Hamid, N. S. A., & Yusof, S., 2008. Effect of arabic gum, xanthan gum and orange oil contents on  $\zeta$ -potential, conductivity, stability, size index and pH of orange beverage emulsion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 315 (1-3): 47-56.
- 34- Mutka, J.R., & Nelson, D.B. 1988. Preparation of encapsulated flavors with high flavor level. *Food Technology*, 42: 154-157.
- 35- Najafi, M. N., Kadkhodae, R., & Mortazavi S. A., 2011. Effect of drying process and wall material on the properties of encapsulated cardamom oil. *Food Biophysics*, 6: 68-76.
- 36- Partanen, R., Hakala, P., Sjoval, O., Kallio, H., & Forssell, P. 2005. Effect of relative humidity on the oxidative stability of microencapsulated sea buckthorn seed oil. *Journal of Food Science*, 70 (1): E37- E43.
- 37- Roos, Y. H. 1995. *Phase transitions in foods*. CA: Academic Press. San Diego.
- 38- Rosenberg, M., & Sheu, T.Y. 1996. Microencapsulation of volatiles by spray-drying in whey protein-based wall systems. *International Dairy Journal*, 6: 273-284.
- 39- Rosenberg, M. 1997. Milk derived whey protein-based microencapsulating agents and a method of use. US Patent no. 5,601,760. California Corporation, Oakland, CA.
- 40- Sasaki, J., Takada, Y., Kusuda, M., Tanabe, Y., Matsunaga, A., & Arakawa, K., 1990. Effects of g-oryzanol on serum lipids and apolipoproteins in dyslipidemic schizophrenics receiving major tranquilizer. *Clinical Therapeutics*, 12: 263-268.
- 41- Shiga, H., Yoshii, H., Nishiyama, T. Furuta, T., Forssele, P., Poutanen, K., & Linko, P. 2001. Flavor encapsulation and release characteristics of spray-dried powder by the blended encapsulant of cyclodextrin and gum Arabic. *Drying Technology*, 19: 1385-1395.
- 42- Soottitawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M., & Linko P., 2003. Microencapsulation by spray drying: influence of emulsion size on the retention of volatile compounds. *Journal of Food Science*, 68 (7): 2256-2262.
- 43- Soottitawata, A., Bigeardb, F., Yoshiia, H., Furutaa, T., Ohkawarac, M., & Linkod P., 2005. Microencapsulation of l-menthol by spray drying and its release characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6 (1): 107-114.
- 44- Thijssen, H. A. C., & Rulkens, W. H., 1968. Retention of aromas in drying food liquids. *De Ingenieur*, Pp: 45- 56.
- 45- Wang, T., Deng, Y., Geng, Y., Gao, Z., Zou, J., & Wang, Z., 2006. Preparation of submicron unilamellar liposomes by freeze-drying double emulsions. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1758: 222-231.
- 46- Xu, Z.; Hua, N.; & Godber, J. S. 2001. Antioxidant activity of tocopherols, tocotrienols, and g-oryzanol components from rice bran against cholesterol oxidation accelerated by 2, 2'-azobis (2-methylpropionamide) dihydrochloride. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49: 2077-2081.
- 47- Yang, Y., Marshall-Breton, C., Leser, M. E., Sher, A. A., & McClements, D. J., 2012. Fabrication of ultrafine edible emulsions: Comparison of high-energy and low-energy homogenization methods. *Food Hydrocolloids*, 29: 398- 406.



- 48- Young, S. L., Sarda, X., & Rosenberg, M. 1993. Microencapsulating properties of whey proteins. 2. combination of whey proteins with carbohydrates. *Journal Dairy Science*, 76: 2878-2885.

## Comparative study on properties of rice bran oil microcapsules prepared by spray drying and freeze drying

Bi Bi Marzieh Razavizadeh<sup>\*1</sup>, Faeze Khan Mohammadi<sup>2</sup>, Seyed Naser Azizi<sup>3</sup>

1- Assistant Professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.

\* Corresponding author (m.razavizadeh@rifst.ac.ir)

2- MSc. Graduated Student, Department of Analytical Chemistry, Chemistry College, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

3- Professor, Department of Analytical Chemistry, Chemistry College, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

### Abstract

Microencapsulation of rice bran oil using Arabic gum and whey protein concentrate as wall material was studied through both spray drying and freeze drying methods. To this aim, oil -in-water emulsions containing 4 % rice bran oil in an aqueous solution including 20 or 25% of total wall material composition were produced with ultra- turrax homogenizer. The emulsion containing 100% Arabic Gum has a minimum droplet size of (0.36  $\mu\text{m}$ ) while the maximum droplets size of (0.96  $\mu\text{m}$ ) was obtained for the emulsion containing 100% whey protein concentrate and for other ratios of these wall materials the droplets have sizes between these two amounts. Droplet size and viscosity measurements show that the stability of emulsions was influenced by the concentration and type of wall material. Also, the method of drying of emulsion, not only was effective on the size of the microcapsules, but also on the encapsulation efficiency and oil retention in the capsules. The results indicated that the maximum encapsulation efficiencies in the Arabic gum of 60% concentration for wall compound (the total of gum and whey protein concentrate) were 90% through spray drying and 68% through freeze-drying method. Of the two methods, microcapsules obtained from spray drying, while maintaining the regular spherical structures, showed more oil retention during six weeks storage.

**Keywords:** Freeze drying, Microencapsulation, Rice bran oil, Spray drying