



ریزپوشانی کوآنزیم Q₁₀ با روش توده‌ای شدن مرکب

نادیا احمدی^{۱*}، علی نصیرپور^۲، محمود شیخ زین الدین^۳، جواد کرامت^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

^۲استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

^۳دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

^۴استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: کوآنزیم Q₁₀ آنتی‌اکسیدانی آب‌گریز و طبیعی، با نقشی اساسی در متابولیسم انرژی میتوکندری است. تاثیر مثبت Q₁₀ در درمان بسیاری از بیماری‌ها به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی و انرژی‌زایی این ترکیب است. کاهش قدرت سنتز درون سلولی با افزایش سن، ناکافی بودن Q₁₀ موجود در مواد غذایی و تاثیرات سلامتی‌بخش متعدد، موجب تلاش برای غنی‌سازی محصولات غذایی با این کوآنزیم شده است. هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان ریزپوشانی کوآنزیم Q₁₀ با استفاده از روش توده‌ای شدن مرکب و تعیین نسبت بهینه اجزاء اصلی (بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی، روغن حاوی Q₁₀، آب) برای رسیدن به بالاترین میزان راندمان و بارگذاری ریزپوشانی است. با توجه به حساسیت Q₁₀ به حرارت، در این تحقیق بتالاکتوگلوبولین جایگزین ژلاتین در روش توده‌ای شدن مرکب گردید و همراه با صمغ عربی برای ریزپوشانی روغن حاوی Q₁₀ مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در ابتدا پودر Q₁₀ و روغن زیتون در ظرف کدر ریخته شد و نمونه به مدت ۲۴ ساعت در گرم‌خانه شیکردار قرار داده شد؛ سپس محلول‌های ۴-۱ درصد (وزنی/وزنی) بتالاکتوگلوبولین و صمغ عربی با حل کردن مقدار مشخصی از هرکدام در آب مقطر تهیه گردید. در ادامه امولسیون از روغن حاوی Q₁₀ و محلول بتالاکتوگلوبولین تهیه و با افزودن محلول صمغ عربی و تنظیم pH آن روی ۴ میکروکپسول‌ها شکل گرفتند. پس از جداسازی میکروکپسول‌ها، از خشک‌کن انجمادی جهت خشک کردن آن‌ها استفاده شد و به بررسی شکل ظاهری میکروکپسول‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبرشی و میکروسکوپ نوری پرداخته شد. علاوه بر این، اندازه و توزیع اندازه ذرات میکروکپسول‌های مرطوب نیز با دستگاه آنالیز اندازه ذرات بررسی شد. در مرحله بعد، راندمان ریزپوشانی در دو مرحله قبل و بعد از خشک‌کردن، از طریق استخراج روغن با هگزان، حل کردن روغن استخراجی در ۴-۱ دی‌اکسان و تزریق به دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا اندازه‌گیری شد. در پایان تاثیر خشک کردن با آون و انجمادزایی، بر راندمان ریزپوشانی ۵ فرمول مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: راندمان نمونه‌ها قبل از خشک کردن انجمادی به غیر از فرمول شماره ۱۴ (حاوی ۴ درصد (وزنی/وزنی) بتالاکتوگلوبولین، ۴ درصد (وزنی/وزنی) صمغ عربی، ۵ درصد (وزنی/وزنی) روغن) در محدوده ۹۹/۰۱-۹۴/۰۵ درصد بود. تغییرات راندمان و بارگذاری نمونه‌ها پس از خشک کردن انجمادی به ترتیب در محدوده ۹۲/۴۵-۳۹/۹۱ درصد و ۸۳/۷۵-۲۴/۷۸

*مسئول مکاتبه: nadiaahmadi_h@yahoo.com

درصد قرار داشت و نمونه حاوی ۲/۵ درصد (وزنی / وزنی) بتالاکتوگلوبولین، ۲/۵ درصد (وزنی / وزنی) صمغ عربی و ۵ درصد (وزنی / وزنی) روغن (فرمول شماره ۱۲) از بالاترین راندمان ریزپوشانی (۹۲/۴۵ درصد)، توزیع اندازه یکنواخت و سطحی صاف و بدون منفذ برخوردار بود.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج، فرمول شماره ۱۲ (حاوی ۲/۵ درصد (وزنی / وزنی) بتالاکتوگلوبولین، ۲/۵ درصد (وزنی / وزنی) صمغ عربی و ۵ درصد (وزنی / وزنی) روغن) می تواند به طور موفقیت آمیزی برای ریزپوشانی کوآنزیم Q10 به کار گرفته شود.

واژه های کلیدی: ریزپوشانی، کوآنزیم Q10، توده ای شدن مرکب، راندمان، بارگذاری

مقدمه

توده‌ای شدن یکی از روش‌های پرکاربرد ریزپوشانی است که برای نخستین بار در دهه ۱۹۵۰ برای تولید میکروکپسول‌های رنگ حساس به فشار و به منظور کاربرد در کاغذهای کپی بدون کربن به کار گرفته شد (۱۴). امروزه عمدتاً از این روش به منظور ریزپوشانی روغن حاوی ترکیبات آب‌گریز استفاده می‌گردد. کلمه "کوآسرویشن"^۱ برگرفته از کلمه لاتین "آسرووس"^۲ به معنای "توده" و پیشوند "کو"^۳ به مفهوم تجمع ذرات کلوئیدی است (۱۴). هنگامی که پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدهای دارای بار مخالف به صورت هم‌زمان در یک محلول حضور داشته باشند، نیروهای جاذبه بین آن‌ها کمپلکس‌هایی محلول یا نامحلول را تشکیل می‌دهند. کمپلکس‌های نامحلولی که در pH های پایین‌تر از pH ایزوالکتریک پروتئین تشکیل می‌شوند، منجر به تفکیک فاز مایع به یک فاز غنی از پلی‌مر به نام فاز توده‌ای و یک فاز رقیق پلی‌مری می‌گردند. کمپلکس‌های تشکیل شده، توانایی ایجاد پوشش در اطراف ترکیبات فعال موجود در محلول را دارا بوده و همین ویژگی بی‌نظیر، سبب استفاده از این روش در ریزپوشانی ترکیبات فعال شده است (۱۴). به همین دلیل امروزه توده‌ای شدن به‌طور گسترده‌ای برای ریزپوشانی انواع طعم‌ها (۱۵)، روغن ماهی (۱۳)، ریزمغذی‌ها (۷) و ویتامین‌ها (۶) مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً از ژلاتین و صمغ عربی به‌عنوان پلی‌الکترولیت در توده‌ای شدن مرکب استفاده می‌گردد (۱۴). اما روش توده‌ای شدن مرکب بین ژلاتین و صمغ عربی نیازمند حرارت‌های بالاتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد بوده و امکان استفاده از آن برای پوشش‌دهی ترکیبات حساس به حرارت وجود ندارد.

با توجه به آن که توده‌ای شدن مرکب بین پروتئین آب پنیر و صمغ عربی در دمای اتاق (بیشتر از صفر درجه سانتی‌گراد) رخ می‌دهد، جایگزینی ژلاتین با پروتئین آب پنیر، استفاده از این روش برای ریزپوشانی ترکیبات حساس به حرارت را امکان‌پذیر ساخته است (۱۲).

کوآنزیم Q₁₀ آنتی‌اکسیدانی آب‌گریز و حساس به حرارت بوده که دارای نقشی اساسی در متابولیسم انرژی میتوکندری^۴ است. انرژی‌زایی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی، Q₁₀ را به ترکیبی مفید در پیشگیری و درمان بسیاری از بیماری‌ها مانند بیماری‌های قلبی و عروقی، فشارخون، پارکینسون، میگرن، دیابت و سرطان تبدیل کرده است (۸). کاهش سنتز درون سلولی با افزایش سن و ناکافی بودن دریافت از طریق مواد غذایی، مکمل‌های Q₁₀ را به مکمل‌هایی پرمصرف در جهان تبدیل نموده است (۱۰). علاوه بر این، تلاش‌ها برای غنی‌سازی مواد غذایی با این ترکیب رو به افزایش است تا امکان دسترسی طبیعی‌تر و از طریق مواد غذایی برای افراد فراهم گردد. خاصیت آب‌گریزی و وزن مولکولی بالا سبب نامحلول بودن Q₁₀ در محیط‌های آبی شده که مهمترین مشکل در راه غنی‌سازی مواد غذایی به شمار می‌رود (۱۰). ایجاد کمپلکس با سیکلودکسترین‌ها به‌ویژه β-سیکلودکسترین و ریزپوشانی در ماتریکس‌های مختلف از جمله تلاش‌های انجام گرفته به‌منظور افزایش حلالیت این کوآنزیم بوده است (۲، ۵).

هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان ریزپوشانی Q₁₀ با روش توده‌ای شدن مرکب و با ترکیب مواد پوشاننده‌ای که تا کنون جهت ریزپوشانی Q₁₀ مورد استفاده قرار نگرفته می‌باشد. با توجه به این که Q₁₀ ترکیبی حساس به حرارت است، در استفاده از روش توده‌ای شدن مرکب، بتالاکتوگلوبولین جایگزین ژلاتین گردید. بهینه‌سازی ترکیب اجزای فرمولاسیون

1. Coacervation
2. Aservus
3. Co
4. Mitochondria

(۲). بدین منظور ابتدا روغن زیتون در ظرف درب‌دار کدر توزین شد. سپس پودر Q10 به آن افزوده و نمونه به مدت ۲۴ ساعت در گرم‌خانه شیکردار در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و دور ۲۰۰ به منظور انحلال کامل قرار داده شد.

تهیه محلول و امولسیون: محلول‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ عربی به صورت جداگانه و در محدوده غلظت‌های ۴-۱ درصد (وزنی/وزنی) با حل کردن مقادیر لازم از هر کدام در آب مقطر تهیه گردید. برای این منظور پودرها به تدریج و تحت هم‌زدن مداوم روی هم‌زننده به آب اضافه و سپس محلول‌ها برای رسیدن به تعادل به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. پس از آماده‌سازی محلول‌های بتالاکتوگلوبولین و صمغ عربی، روغن زیتون حاوی Q10 (دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد) به محلول بتالاکتوگلوبولین اضافه و با هم‌زدن توسط هم‌وزنایزر اولتراتورکس T18 (ساخت آلمان، مدل Ika) در دور ۱۴۰۰۰ به مدت ۲ دقیقه امولسیون روغن در آب شکل گرفت. در ادامه و پس از افزودن محلول صمغ عربی به امولسیون و اختلاط کامل، pH با اضافه کردن اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال، روی ۴ تنظیم شد. با کاهش pH جدا شدن فازها رخ داد و میکروکپسول‌ها تشکیل گردیدند. در آخر میکروکپسول‌ها پس از جداسازی با استفاده از خشک‌کن انجمادی در ۴۵- درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند (۱۴).

اندازه‌گیری راندمان ریزپوشانی و بارگذاری: قبل از خشک کردن به منظور اندازه‌گیری Q10 سطحی، ۱۵۰ میلی‌لیتر هگزان طی ۳ مرحله به ۱ گرم میکروکپسول اضافه شد و پس از ۱ تا ۲ دقیقه هم‌زدن، لایه هگزان جداسازی و در نهایت پس از تبخیر حلال، روغن سطحی به روش وزن سنجی در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. روغن حاصل تا زمان تزریق به

به طوری که منجر به بیشترین بهره‌وری فرایند و درصد Q10 میکروکپسول نهایی شود و نیز تاثیر ترکیبات مختلف (بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی، روغن حاوی Q10 و آب) بر راندمان ریزپوشانی و بارگذاری از دیگر اهداف مهم این تحقیق بود. علاوه بر این به منظور بررسی اثر خشک کردن بر راندمان ریزپوشانی، راندمان نمونه‌ها قبل و بعد از خشک کردن انجمادی مقایسه گردید و نیز به منظور انتخاب مناسب‌ترین راه برای خشک کردن میکروکپسول‌ها، به مقایسه راندمان نمونه‌ها پس از خشک کردن انجمادی و خشک کردن با آون پرداخته شد. در پایان تاثیر انجمادزایی بر راندمان ریزپوشانی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اصلی مورد استفاده در این پژوهش عبارت بودند از Q10 (شرکت شانگهای سانفول بیوتک^۱)، بتالاکتوگلوبولین (شرکت دایسکو فود اینترنشنال^۲)، صمغ عربی (شرکت کلونید نچرالز اینترنشنال^۳)، روغن زیتون (شرکت اتکا).

طراحی فرمول: فرمول نمونه‌ها با ترکیبی از ۴ جزء اصلی روغن زیتون حاوی Q10، بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی و آب مقطر آماده شد. محدوده درصد وزنی اجزاء بر اساس سری آزمایش‌های مقدماتی انتخاب و جهت تعیین درصد وزنی اجزاء اصلی در هر فرمولاسیون، از طرح مخلوط در نرم افزار دیزاین اکسپرت (۶،۰،۶) استفاده شد. لازم به ذکر است که مجموع درصد وزنی اجزاء در هر فرمول برابر ۱۰۰ می‌باشد.

حل کردن Q10 در روغن: حل کردن Q10 در روغن مطابق با روش بول و همکاران (۲۰۱۰) انجام گردید

1. Changsha Sunfull Bio-tech
2. Davisco Foods International
3. ColloidesNaturels International

$$100 \times \frac{Q_{10} \text{ سطحی (گرم)} - Q_{10} \text{ کل (گرم)}}{\text{وزن میکروکپسولها (گرم)}} = \text{بارگذاری (درصد)}$$

بررسی اندازه و شکل میکروکپسول‌ها: از میکروسکوپ نوری نیکون مدل اسلیس ای ۶۰۰ ساخت ژاپن مجهز به دوربین دیجیتالی، برای بررسی شکل میکروکپسول‌ها استفاده گردید. تصاویر پودر میکروکپسول‌ها نیز با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبرشی^۲ (ساخت هلند مدل، XL 40 Philips) تهیه شد. برای این منظور پودر میکروکپسول‌ها در یک طرف نوار چسب دوطرفه‌ای پخش و طرف دیگر نوار چسب به یک صفحه فلزی مخصوص چسبانده شد و پس از پوشش دهی نمونه تثبیت شده با اتم‌های طلا در محفظه تحت خلاء، بررسی شکل میکروکپسول‌ها با میکروسکوپ انجام گردید. توزیع اندازه ذرات نیز با استفاده از روش پراکنش نور استاتیک، به کمک دستگاه مستر سایزر ۲۰۰۰ (شرکت مالورن انگلیس) تعیین شد. برای این منظور ۰/۱۵ گرم از سوسپانسیون میکروکپسول‌ها پس از رقیق‌سازی در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول سدیم دودسیل سولفات^۳ (۰/۲ درصد وزنی / حجمی) به مدت ۵ دقیقه روی هم‌زن قرار داده شد و سپس به دستگاه تزریق گردید (۱۳).

بررسی اثر خشک کردن با آون و انجمادزدایی بر راندمان ریزپوشانی: به منظور بررسی اثر خشک کردن با آون و انجمادزدایی بر راندمان ریزپوشانی، ۵ فرمول (با درصد وزنی بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی و روغن حاوی Q₁₀ به ترتیب ۴، ۴، ۱۵-۱، ۵-۲/۵، ۴، ۲۵-۱، ۲۵ و ۳/۲۵، ۱۰) به صورت تصادفی انتخاب گردید. میکروکپسول‌ها پس از آماده سازی به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از خشک شدن، وضعیت

دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا^۱ (شیمادزو، ژاپن) در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۲). برای اندازه‌گیری Q₁₀ کل، ابتدا روغن موجود در ۱ گرم میکروکپسول به روش ژربر استخراج گردید و در ادامه با افزودن ۱۵۰ میلی‌لیتر هگزان طی ۳ مرحله به دکانتور حاوی روغن و اسید ژربر و هم زدن شدید، فاز حلال جدا و پس از تبخیر حلال، روغن کل به روش وزن سنجی طی ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. روغن حاصل تا زمان تزریق به دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

پس از خشک کردن انجمادی به منظور اندازه‌گیری Q₁₀ سطحی، ابتدا ۱ گرم میکروکپسول در آب به صورت کامل هیدراته و سپس طی ۲ مرحله با ۱۰۰ میلی‌لیتر هگزان به طور کامل مخلوط و تحت هم زدن شدید قرار گرفت. پس از آن لایه هگزان حاوی روغن سطحی جداسازی و بعد از تبخیر حلال، روغن سطحی به روش وزن سنجی در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. روغن حاصل تا زمان تزریق به دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۲).

برای اندازه‌گیری Q₁₀ کل، ۱۰۰ میلی‌لیتر هگزان طی چندین مرحله به ۱ گرم میکروکپسول اضافه شد و تحت هم‌زدن شدید به مدت ۱ تا ۲ دقیقه قرار گرفت. سپس میکروکپسول‌ها توسط کاغذ صافی از حلال جدا شده و روغن کل پس از تبخیر حلال به روش وزن سنجی طی ۳ تکرار اندازه‌گیری شد و در انتها راندمان ریزپوشانی و بارگذاری با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید (۱۱، ۲).

$$100 \times \frac{Q_{10} \text{ سطحی (گرم)} - Q_{10} \text{ کل (گرم)}}{Q_{10} \text{ کل (گرم)}} = \text{راندمان ریزپوشانی (درصد)}$$

2. Scanning Electron Microscope (SEM)
3. Sodium dodecyl sulphate

1. High performance liquid chromatography (HPLC)

تهیه شد. سپس غلظت‌های ۵۰۰،۲۵۰ و ۱۲۵ پی‌پی‌ام استاندارد با رقیق‌سازی محلول استوک تهیه و ۲ میکرولیتر از محلول‌های استاندارد به دستگاه تزریق شد و نمودار استاندارد ترسیم گردید.

طرح آزمایش و آنالیز آماری: جدول تجزیه واریانس و مدل سازی متغیرهای پاسخ و نیز طرح مخلوط در نرم‌افزار دیزاین اکسپرت به منظور تعیین نسبت اجزاء اصلی (بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی، روغن و آب) در فرایند ریزپوشانی مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱).

نتایج و بحث

راندمان و بارگذاری ریزپوشانی: جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب نتایج تجزیه واریانس، راندمان و بارگذاری ریزپوشانی را نشان می‌دهد.

ظاهری و راندمان آن‌ها بررسی شد. علاوه بر این، برای بررسی اثر انجمادزدایی بر راندمان ریزپوشانی، میکروکپسول‌ها در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد به منظور انجماد کامل قرارداد شدند و سپس نمونه‌ها یخ‌زدایی شده و راندمان آنها اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری Q₁₀ با کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا: برای اندازه‌گیری Q₁₀ از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا مجهز به ستون C₁₈ با ابعاد ۲۵۰×۶/۴×۵ میلی‌متر و دتکتور فرابنفش (UFPD-6AV) در طول موج ۲۷۵ نانومتر استفاده گردید. از اتانول ۱۰۰ درصد به عنوان فاز متحرک با جریان ایزوکراتیک و سرعت ۱ میلی‌لیتر/دقیقه استفاده شد و ۴۱ دی‌اکسان نیز به منظور حل کردن Q₁₀ و نمونه‌های روغن حاوی آن به کار برده شد (۲). برای رسم نمودار استاندارد، ابتدا محلول استوک ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام با حل کردن ۲۵ میلی‌گرم پودر Q₁₀ در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر ۴۱ دی‌اکسان

جدول ۱: تجزیه واریانس ضرایب اجزاء و احتمال مدل مکعب خاص برای راندمان ریزپوشانی و بارگذاری

Table 1. Estimation of coefficients and probabilities for the special cubic model for microencapsulation efficiency and payload

بارگذاری Payload		راندمان Microencapsulation efficiency		منابع تغییرات Source	
احتمال Probability	برآورد ضریب Coefficient estimate	احتمال Probability	برآورد ضریب Coefficient estimate		
<0.0001		<0.0001		Model	مدل
<0.0001	-842.35	<0.0001	-6560.14	A- β-lactoglobulin	A-بتالاکتوگلوبولین
<0.0001	-1232.73	<0.0001	-1807.93	B- Arabic Gum	B-صمغ عربی
<0.0001	76.81	<0.0001	10.16	C- Oil	C-روغن
<0.0001	68.97	<0.0001	87.30	D- Water	D-آب
0.0009	3531.14	0.220	23073.51	AB	
0.2004	1036.00	0.0008	8264.16	AC	
0.3126	791.75	0.0023	7486.66	AD	
0.1375	1377.62	0.388	1657.66	BC	
0.2236	1088.56	0.439	1380.01	BD	
0.0158	42.25	0.474	68.69	CD	
-	-	0.681	-8762.52	ABC	
-	-	0.584	-10604.07	ABD	
-	-	0.009	-3682.15	ACD	
-	-	0.051	1448.74	BCD	

مقدار p کمتر از ۰/۰۵ بیانگر معنی‌داری عبارت‌های مدل و مقدار p بیشتر از ۰/۱ بیانگر غیرمعنی‌داری عبارت‌های مدل است.

p values less than 0.05 indicate that model terms are significant and p values greater than 0.1 indicate that model terms are not significant.

جدول ۲: میانگین راندمان ریزپوشانی قبل و پس از خشک کردن انجمادی و بارگذاری

Table 2. Microencapsulation efficiency, payload and oil loading of different formulations

بارگذاری (درصد)	راندمان قبل از خشک کردن (درصد)	راندمان پس از خشک کردن (درصد)	فرمولاسیون (درصد وزنی)				رتبه
			Formulation (%)				
Payload (%)	Microencapsulation efficiency before drying(%)	Microencapsulation efficiency after drying(%)	آب Water	روغن حاوی Q10 Oil containing Q10	صمغ عربی Arabic Gum	بتالاکتوگلوبولین β-lactoglobulin	
63.63	99.01	85.89	77	15	4	4	1
42.69	94.05	82.32	90	5	1	4	2
77.80	95.68	80.97	68.5	25	4	2.5	3
77.87	98.11	64.71	70	25	1	4	4
64.64	97.64	55.67	78.5	15	2.5	4	5
75.10	98.41	60.38	70	25	1	4	6
47.52	95.51	86.61	90	5	1	4	7
74.10	96.29	87.53	73.5	20	3.25	3.25	8
70.65	94.72	88.43	93	5	1	1	9
80.21	98.85	67.56	76.5	20	1.75	1.75	10
73.38	97.98	78.05	68.5	25	4	2.5	11
70.48	95.34	92.45	90	5	2.5	2.5	12
83.75	98.6	40.18	73	25	1	1	13
24.78	89.17	87.11	87	5	4	4	14
74.71	94.87	67.43	81.5	15	1	2.5	15
72.36	95.92	84.98	86.5	10	1.75	1.75	16
56.98	98.27	80.06	83.5	10	3.25	3.25	17
49.11	95.85	34.91	80	15	4	1	18
66.15	98.52	86.12	93	5	1	1	19
58.11	95.01	40.01	80	15	4	1	20

مشاهده می‌گردد راندمان ریزپوشانی پس از خشک کردن در محدوده ۳۴/۹۱-۹۲/۴۵ درصد و درصد بارگذاری در محدوده ۲۴/۷۸-۸۳/۷۵ درصد قرار داشت. نتایج تجزیه واریانس جهت انتخاب مدل برای توصیف راندمان و بارگذاری نشان داد مدل مکعب خاص، مناسب‌ترین مدل برای توصیف راندمان و مدل درجه دوم، مناسب‌ترین مدل برای توصیف بارگذاری بوده (جدول ۱) و با فرمول‌های زیر به برآورد راندمان و بارگذاری می‌پردازد. حروف A, B, C و D به ترتیب نشان دهنده درصد وزنی بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی، روغن حاوی Q10 و آب هستند.

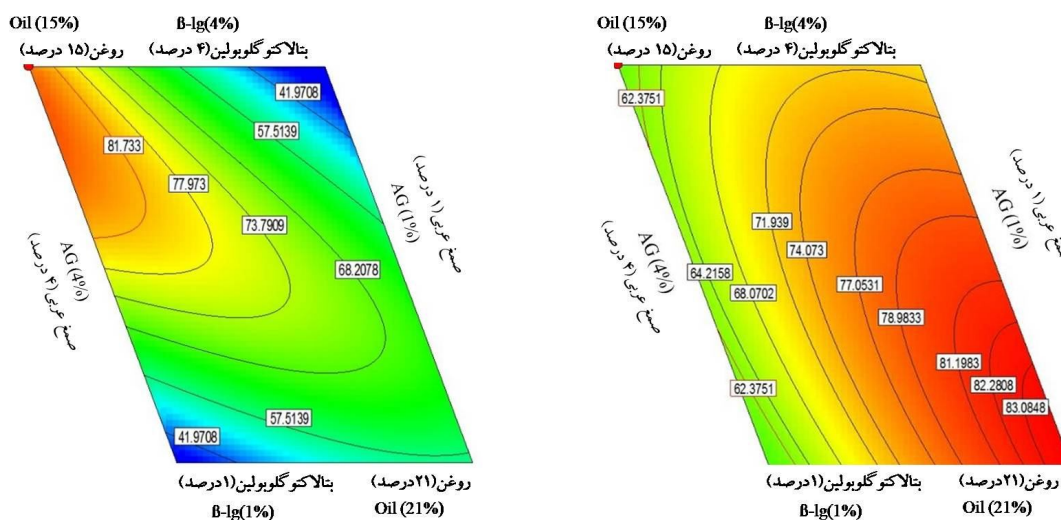
$$+6560.14 A - 1807.93 B + 10.16 C + 87.30 D + 23073.51 AB + 8264.16 AC + 7486.66 AD + 1657.66 BC + 1380.01 BD + 68.69 CD - 8762.52 ABC - 10604.07 ABD - 3682.15 ACD + 1448.74 BCD$$

$$=842.35A - 1232.73B + 76.81C +68.97D +3531.14AB +1036AC +791.75AD +1377.62BC +1088.56BD +42.25CD$$

به‌منظور اندازه‌گیری راندمان ریزپوشانی و بارگذاری، از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا استفاده شد و پیک Q10 در دقیقه ۸/۳۲ رویت گردید. راندمان ریزپوشانی نمونه‌ها قبل از خشک کردن انجمادی به غیر از فرمول شماره ۱۴ (حاوی بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی، روغن و آب به ترتیب، ۴، ۴، ۵ و ۸۷ (درصد وزنی/وزنی) که برابر ۸۹/۱۷ درصد بود، برای سایر فرمول‌ها بیشتر از ۹۰ درصد و در محدوده ۹۹/۰۱-۹۴/۰۵ درصد قرار داشت (جدول ۲)؛ به همین دلیل از آنالیز داده‌ها قبل از خشک کردن انجمادی صرف نظر و تنها به بررسی تغییر راندمان نمونه‌ها، پس از خشک کردن انجمادی پرداخته شد. قابل ذکر است که آلوم و همکاران (۲۰۱۰) نیز طی تلاشی برای ریزپوشانی الثورزین لفل قرمز و روغن لوبیای سویا با روش توده‌ای شدن مرکب توسط ژلاتین و صمغ عربی، راندمان ریزپوشانی برای نمونه‌ها قبل از خشک کردن را، در محدوده ۹۶/۱-۹۸/۳ درصد بدست آوردند (۱). همان‌گونه که در جدول ۲

بتالاکتوگلوبولین به دلیل داشتن خواص امولسیفایری مانع از الحاق قطرات روغن و در نتیجه تولید قطرات کوچکتر شده که به صورت مناسب‌تری پوشش‌دهی گردیده و در نتیجه سبب افزایش راندمان ریزپوشانی شده است. در شکل ۱ اثرات متقابل بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی و روغن حاوی Q10 در ۷۷ درصد آب بر راندمان ریزپوشانی قابل مشاهده است.

مقادیر p نشان داد که مدل و اثرات هر یک از اجزاء فرمولاسیون به تنهایی (آمیزه خطی) بر راندمان ریزپوشانی، معنی‌دار است ($P < 0.001$). در بین اثرات متقابل، اثر بتالاکتوگلوبولین-روغن (AC)، بتالاکتوگلوبولین-آب (AD) و بتالاکتوگلوبولین-روغن-آب (ACD) معنادار ($P < 0.05$) و برهمکنش AC بیشترین ضریب را دارا بود. بالاتر بودن تاثیر این برهمکنش این‌گونه قابل توجیه است که



شکل ۱: اثرات متقابل بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی و روغن حاوی Q10 در ۷۷ درصد آب، بر راندمان ریزپوشانی (a) و بارگذاری (b) (β-Ig: بتالاکتوگلوبولین، AG: صمغ عربی)

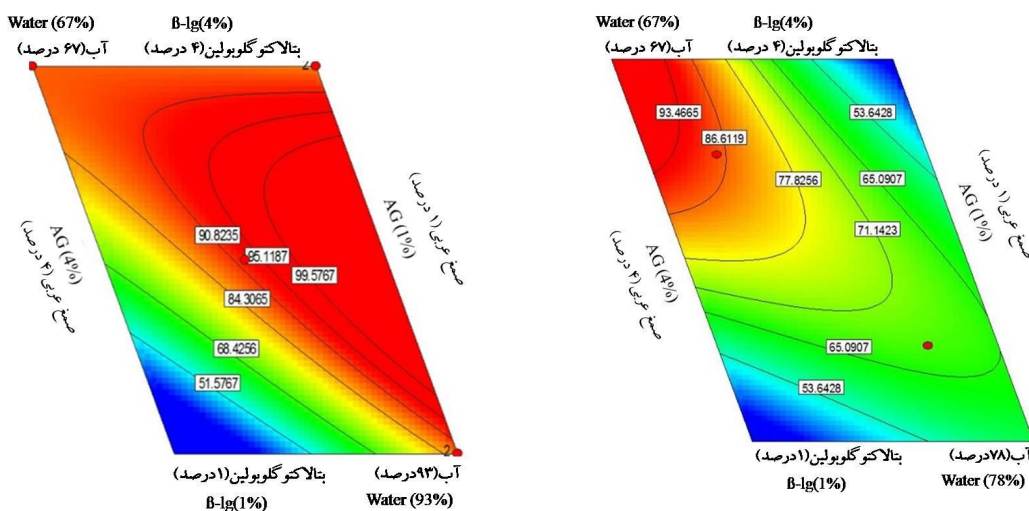
Figure 1. Counter plots showing the influence of biopolymers concentrations and oil amounts on microencapsulation efficiency (%) (a) and payload (%) (b) in constant amount of water (77%): (β-Ig: β-lactoglobulin, AG: Arabic Gum)

شکل‌های حاصل روند مشابهی مشاهده شد؛ با این تفاوت که مقادیر راندمان متفاوت بود. بول و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که با افزایش میزان روغن، تمایل برای تشکیل آگلومره افزایش یافته که این امر منجر به افزایش اندازه ذرات و کاهش راندمان ریزپوشانی می‌گردد (۲). با افزایش نسبت هسته به مواد پوشش‌دهنده، میزان مواد پوشش‌دهنده برای ایجاد پوشش مناسب در اطراف هسته ناکافی بوده و پوششی نازک و در برخی نقاط ناکامل در اطراف هسته تشکیل شده است که این منجر به کاهش راندمان ریزپوشانی گردیده است. افزایش مواد

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد کاهش میزان روغن و افزایش درصد وزنی بتالاکتوگلوبولین و صمغ عربی، افزایش راندمان ریزپوشانی را در پی داشت. بر این اساس، به منظور بررسی دقیق‌تر در نقاط دارای راندمان‌های مختلف، نسبت زیست‌پلی‌مر به روغن به دست آمد؛ برای مثال در نقاط دارای راندمان ۸۴/۸۰، ۷۹/۲۸، ۷۴/۵۴ و ۶۴/۳۳ درصد نسبت زیست‌پلی‌مرها به روغن به ترتیب برابر ۰/۵۱، ۰/۳۳، ۰/۲۵، ۰/۱۳ بود. بنابراین می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که با افزایش نسبت زیست‌پلی‌مرها به روغن راندمان ریزپوشانی افزایش یافته است. با تغییر درصد وزنی آب در تمام

همکاران (۲۰۱۱) نیز طی ریزپوشانی روغن بزرک با استفاده از زئین نشان دادند که افزایش میزان روغن منجر به کاهش راندمان ریزپوشانی می‌گردد (۱۱).
عمر و همکاران (۲۰۰۹) نیز طی ریزپوشانی روغن بزرک با صمغ عربی به نتیجه مشابهی دست یافتند؛ آن‌ها گزارش کردند، افزایش میزان روغن کاهش راندمان ریزپوشانی را در پی خواهد داشت (۹). با توجه به نقش مهم درصد روغن بر راندمان ریزپوشانی، به بررسی نحوه تغییر اجزاء در درصدهای ثابت روغن پرداخته شد (شکل ۲).

پوشش‌دهنده، پوشش‌دهی مناسب و کامل در اطراف هسته را میسر ساخته و با ایجاد ضخامت مناسب در اطراف آن باعث پایداری میکروکپسول‌های حاصل شده است. به‌طورکلی می‌توان گفت وجود تعادل مناسب بین مواد پوشش‌دهنده و هسته در دستیابی به راندمان بالا بسیار موثر است. پودر میکروکپسول‌های دارای مقدار بالای روغن و مقادیر کم بتالاکتوگلوبولین و صمغ عربی، دارای ظاهری روغنی بود که این امر موید بالا بودن روغن سطحی میکروکپسول‌های حاصل و در نتیجه پایین بودن راندمان ریزپوشانی می‌باشد. کوئیسپ کندری و



شکل ۲: اثرات متقابل بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی و آب در ۵ (a) و ۲۰ درصد (b) روغن بر راندمان ریزپوشانی β -lg: بتالاکتوگلوبولین، AG: صمغ عربی)

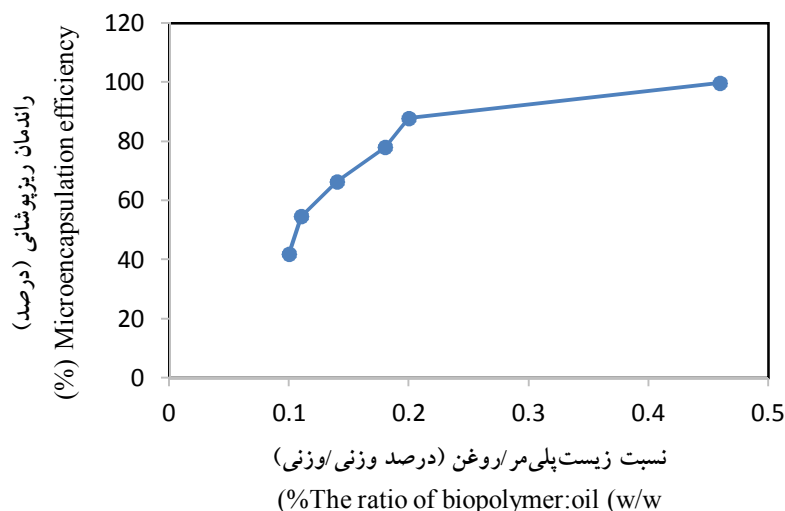
Figure 2. Estimated counter plots showing influence of β -lactoglobulin, Arabic gum and water on microencapsulation efficiency (%) in different formulations containing 5 (a) and 20% of oil (b); (β -lg: β -lactoglobulin, AG: Arabic gum).

ریزپوشانی گردیده بود. علاوه بر این با افزایش غلظت زیست‌پلی‌مرها در فرمول‌های حاوی ۱۰-۵ درصد روغن، افزایش کدورت سوپرناتانت را شاهد بودیم که این امر ناشی از افزایش زیست‌پلی‌مرهای آزاد و شرکت نکرده در توده‌ای شدن بوده است. بورگس (۱۹۸۴) بیان کرد افزایش گرانیروی فاز توده‌ای، افزایش راندمان و پایداری میکروکپسول‌ها را در پی

بررسی‌ها نشان داد کلیه فرمول‌های حاوی ۱۰-۵ درصد روغن از روند یکسانی تبعیت کردند؛ به این نحو که افزایش غلظت کل زیست‌پلی‌مرها، کاهش راندمان ریزپوشانی را در پی داشت. فرمول‌های حاوی ۱۵-۲۵ درصد روغن نیز از روند یکسانی برخوردار بودند؛ با این تفاوت که در این فرمول‌ها، افزایش غلظت کل زیست‌پلی‌مرها منجر به افزایش راندمان

راندمان ریزپوشانی افزایش یافته است. در واقع با افزایش میزان روغن در محدوده ۲۵-۱۵ درصد، به زیست پلیمر بیشتری به منظور پوشش دهی مناسب در اطراف قطرات روغن نیاز است؛ به همین دلیل افزایش غلظت کل زیست پلی مرها در این محدوده افزایش راندمان را در پی داشته است.

دارد؛ اما اگر این افزایش از حدی فراتر رود راندمان ریزپوشانی کاهش می یابد. در واقع زیست پلی مرهای اضافی در محلول، مانع از توده ای شدن گردیده و پس از جداسازی فازها در سوپرناتانت باقی مانده و منجر به کاهش راندمان می گردند (۳). همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می شود در میزان ثابت ۲۵ درصد روغن، با افزایش نسبت زیست پلی مر به روغن



شکل ۳: تاثیر نسبت زیست پلی مر:روغن بر راندمان ریزپوشانی میزان ثابت روغن (۲۵٪).

Figure 3. Effect of biopolymer:oil ratio on microencapsulation efficiency in constant amount of oil (25%)

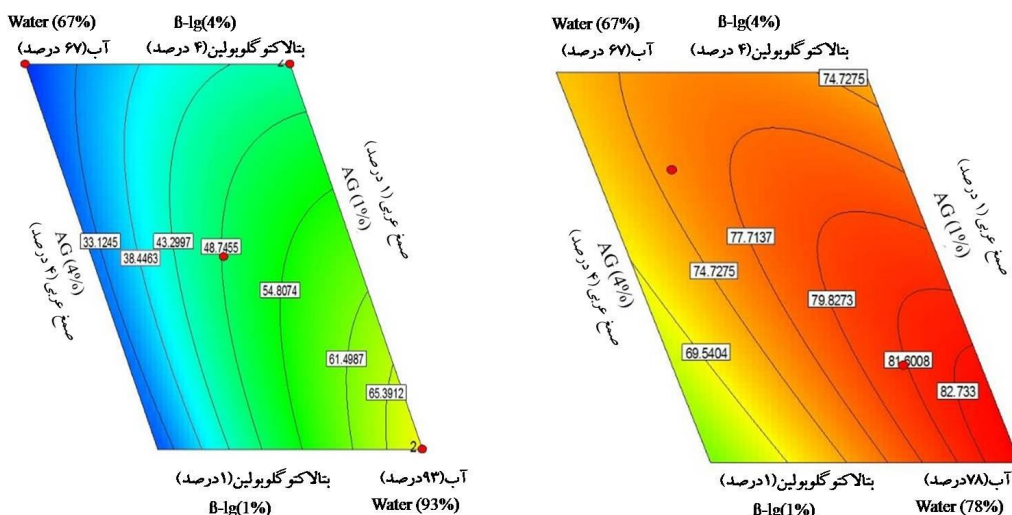
ثابت آب (۷۷ درصد) مطالعه گردید (شکل ۱a). نتایج بررسی ها نشان داد افزایش میزان روغن و کاهش درصد وزنی بتالاکتوگلوبولین و صمغ عربی، افزایش بارگذاری را در پی داشته است. با کاهش میزان روغن، تعداد میکروکپسول های دارای میزان کمتر هسته افزایش یافته که این امر منجر به کاهش بارگذاری گردیده است.

علاوه بر این مقادیر ثابتی از روغن به منظور مشاهده نحوه تغییر بارگذاری در غلظت های مختلف زیست پلی مرها بررسی شد (شکل ۴). نتایج این بررسی نشان داد در فرمول های حاوی کمتر از ۱۵ درصد روغن، بیشترین میزان بارگذاری در نواحی دارای کمترین میزان غلظت کل زیست پلی مرها وجود

بارگذاری ریزپوشانی نسبت Q_{10} پوشینه دار شده به وزن پودر نهایی میکروکپسول ها را نشان می دهد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات هر یک از اجزاء فرمولاسیون به تنهایی (آمیزه خطی)، بر بارگذاری معنی دار است. در بین اثرات متقابل، برهمکنش بتالاکتوگلوبولین-صمغ عربی (AB) بیشترین ضریب را در میان سایر عبارات مدل دارا بود ($P < 0.05$)؛ این امر به دلیل تشکیل توده های مرکب از این دو جزء بوده که عمده ترین نقش را در تشکیل فیلم پوششی اطراف ریز قطره های روغن به عهده دارند. بنابراین، این برهمکنش تأثیری جدی بر متغیر وابسته ذکر شده داشته است. به منظور بررسی بیشتر، تأثیرات متقابل اجزاء فرمول بر بارگذاری، در مقدار

دیگر در این نواحی غلظت زیست‌پلی‌مرها تاثیری چندانی بر بارگذاری نداشته و بیشتر به غلظت روغن وابسته بود.

داشت، در حالی که در فرمول‌های دارای بیشتر از ۱۵ درصد روغن، بارگذاری در تمام غلظت‌های زیست‌پلی‌مری در حد بهینه قرار داشت؛ به عبارت

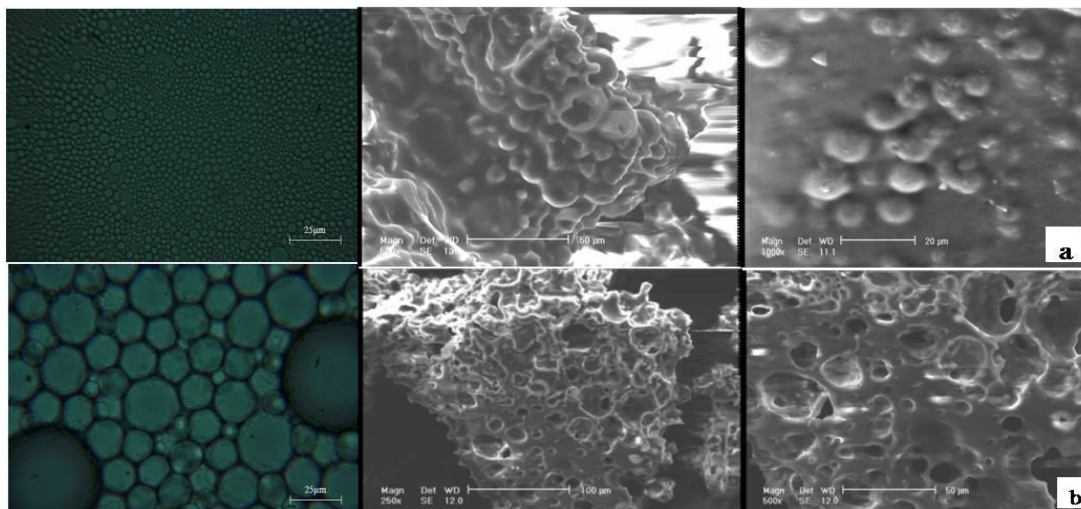


شکل ۲: تاثیرات متقابل بتالاکتو گلوبولین، صمغ عربی و آب در ۵ (a) و ۲۰٪ (b) روغن بر بارگذاری (B-Ig: بتالاکتو گلوبولین، AG: صمغ عربی)

Figure 2. Estimated counter plots showing influence of β -lactoglobulin, Arabic gum and water on payload% in the formulations containing 5 oil (a) 20% oil (b) (B-Ig: β -lactoglobulin, AG: Arabic gum).

نسبت هسته/ دیواره، افزایش اندازه میکروکپسول‌ها را در پی داشته است. نتایج دستگاه آنالیز کننده اندازه ذرات نیز نتایج حاصل از میکروسکوپ نوری را تایید کرد؛ میکروکپسول‌های موجود در شکل ۵a دارای توزیع اندازه ذرات در محدوده ۲-۵/۶ میکرومتر و متوسط اندازه ذرات ۳/۶۴۶ میکرومتر بودند، در حالی که توزیع اندازه ذرات برای میکروکپسول‌های موجود در شکل ۵b در محدوده ۰/۵-۵۰/۲ میکرومتر و متوسط اندازه ذرات آن‌ها ۱۴/۳۷۶ میکرومتر بود. اندازه میکروکپسول‌ها به مقدار زیادی وابسته به اندازه ریزقطره‌های روغن بوده که این امر با نحوه آماده‌سازی امولسیون در ارتباط است. به نظر می‌رسد با افزایش میزان روغن، بهره‌وری نیروی هم‌زن در طی تولید امولسیون کاهش یافته که این امر سبب بزرگتر شدن قطرات روغن در فرمول‌های حاوی مقادیر بیشتر روغن گردیده است.

بررسی اندازه و شکل میکروکپسول‌ها: شکل ۵ میکروکپسول‌های فرمول‌های شماره ۱ (حاوی بتالاکتو گلوبولین، صمغ عربی، روغن و آب به ترتیب ۴، ۴، ۱۵ و ۷۷ (درصد وزنی/ وزنی)) و شماره ۱۲ (حاوی بتالاکتو گلوبولین، صمغ عربی، روغن و آب به ترتیب ۲/۵، ۲/۵، ۵ و ۹۰ (درصد وزنی/ وزنی)) با راندمان و نسبت هسته/ دیواره مختلف را بعد از اتمام ریزپوشانی با میکروسکوپ نوری و الکترونی نشان می‌دهد. نتایج میکروسکوپ نوری حاکی از آن است که میکروکپسول‌های دارای شکلی کروی بوده و میکروکپسول‌های با راندمان ۹۲/۴۵ درصد و نسبت هسته/ دیواره ۱ (شکل ۵a)، کوچک‌تر بوده و از توزیع اندازه یکنواخت‌تری نسبت به میکروکپسول‌های شکل ۵b با راندمان ۸۵/۸۹ درصد و نسبت هسته/ دیواره ۱/۸۷۵ برخوردار بودند. به عبارت دیگر افزایش

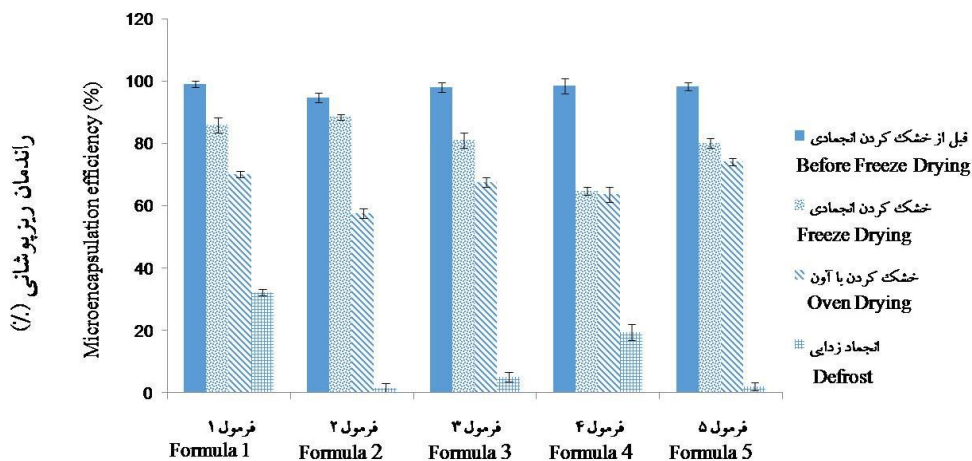


شکل ۵: میکروسکوپ نوری و SEM میکروکپسول‌های با نسبت هسته/دیواره متفاوت، (a) ۱:۱، (b) ۱:۱.۸۷۵.

Figure 5. Light microscopy and Scanning Electron Microscopy (SEM) photographs of microcapsules with different core/wall ratio (a) 1:1 (b) 1.875:1.

سطحی چروکیده و منفذدار بودند (شکل ۵b). در هر دو شکل ماتریکس به هم پیوسته‌ای از مواد پوشش‌دهنده که در توده‌ای شدن شرکت نکرده‌اند باعث پل‌بندی میان میکروکپسول‌ها گردیده است.

نتایج میکروسکوپ الکترونی گویای آن بود که میکروکپسول‌های با راندمان بیشتر و نسبت هسته/دیواره کمتر، دارای سطحی صاف و بدون منفذ بوده (شکل ۵a) در حالی که میکروکپسول‌های با راندمان کمتر و نسبت هسته/دیواره بیشتر، دارای



شکل ۶: تاثیر خشک کردن انجمادی، خشک کردن با آون و انجمادزدایی بر راندمان ریزپوشانی. شماره های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب نشان دهنده فرمول‌های با درصد وزنی بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی و روغن حاوی Q10 به ترتیب ۴، ۴، ۱۵-۱، ۱، ۵-۲/۵، ۴، ۲۵-۴، ۱، ۲۵ و ۳/۲۵، ۳/۲۵، ۱۰ است.

Figure 6. Effect of freeze drying, oven drying and defrost on microencapsulation efficiency (Formula 1: 4%β-Ig, 4%AG, 15%Oil - 2: 1%β-Ig, 1%AG, 5%Oil - 3: 2.5%β-Ig, 4%AG, 25%Oil - 4: 4%β-Ig, 1%AG, 25%Oil - 5: 3.25%β-Ig, 3.25%AG, 10%Oil)

بررسی اثر انجمادزدایی، خشک کردن انجمادی و خشک کردن با آون، راندمان ریزپوشانی فرمول‌های

اثر خشک کردن با آون، خشک کردن انجمادی و انجمادزدایی بر راندمان ریزپوشانی: به‌منظور

دیواره به کار نمی‌رود، بهترین روش برای خشک کردن میکروکپسول‌ها، استفاده از خشک‌کن انجمادی است و استفاده از خشک‌کن پاششی تنها زمانی که غلظت زیادی از گلوترآلدئید به کار رود امکان‌پذیر است، در غیر اینصورت دیواره در طی خشک کردن آسیب دیده و هسته آزاد می‌گردد. به همین دلیل در این تحقیق از خشک‌کن انجمادی به منظور خشک کردن میکروکپسول‌ها استفاده شد.

نتایج حاصل از انجمادزدایی نشان داد میکروکپسول‌ها در برابر انجمادزدایی مقاوم نبودند (شکل ۶) و ساختار دیواره و کمپلکس بین زیست‌پلی‌مرها، در اثر انجمادزدایی کاملاً تخریب شد و هسته آزاد گردید. بنابراین یکی از احتیاط‌های لازم قبل از خشک کردن انجمادی و در طی آن، جلوگیری از انجمادزدایی میکروکپسول‌های منجمد است. در غیر اینصورت دیواره تخریب و هسته به‌صورت بخشی یا کامل آزاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، فرمول شماره ۱۲ (حاوی ۲/۵ درصد (وزنی/وزنی) بتالاکتوگلوبولین، ۲/۵ درصد (وزنی/وزنی) صمغ عربی و ۵ درصد (وزنی/وزنی) روغن) دارای بهترین نسبت‌ها جهت ریزپوشانی کوآنزیم Q10 است. به طور کلی به کار بردن نسبت مناسب مواد پوشش‌دهنده و هسته از اصلی‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر دست‌یابی به راندمان بالای ریزپوشانی، توزیع اندازه ذرات یکنواخت‌تر و بارگذاری مناسب است. علاوه بر این، انتخاب روش مناسب خشک کردن از دیگر پارامترهای تاثیرگذار بر راندمان ریزپوشانی به شمار می‌رود. بالاتر بودن راندمان ریزپوشانی برای نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن انجمادی در مقایسه با خشک کردن با آن نشان داد

انتخابی (با درصد وزنی بتالاکتوگلوبولین، صمغ عربی و روغن حاوی Q10 به ترتیب ۴، ۴، ۱۵-۱، ۱، ۵-۲/۵، ۴، ۲۵-۴، ۱، ۲۵ و ۳/۲۵، ۳/۲۵، ۱۰) پس از قرار گرفتن در هریک از شرایط ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶). همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌گردد، راندمان ریزپوشانی برای نمونه‌ها قبل از خشک کردن انجمادی در حداکثر قرار داشت (بالاتر از ۹۰ درصد) و پس از خشک کردن با هر دو روش خشک کردن انجمادی و خشک کردن با آن، از مقدار آن کاسته شده است. به این ترتیب که میزان راندمان نمونه‌ها پس از خشک کردن انجمادی برای فرمول‌های ۲، ۱، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب برابر با ۸۵/۸۹، ۸۸/۴۳، ۸۰/۹۷، ۶۴/۷۱ و ۸۰/۰۶ درصد و پس از خشک کردن با آن برابر با ۷۰/۱۵، ۵۷/۵۲، ۶۷/۵، ۶۳/۵۷ و ۷۴/۱۵ درصد بود. تحقیقات نشان داده است که اغلب روش‌های خشک کردن از هم‌پاشیدگی دیواره میکروکپسول‌ها را در پی داشته است (۴)؛ بنابراین کاهش راندمان پس از خشک کردن قابل پیش‌بینی است. اما این کاهش برای میکروکپسول‌ها پس از خشک کردن با آن بیشتر از خشک کردن انجمادی بود؛ ضمن این که تمام نمونه‌های خشک شده با آن، دارای ظاهری روغنی و چرب بود که این ویژگی در نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن انجمادی تنها در فرمول‌های دارای میزان زیاد روغن و میزان اندک زیست‌پلی‌مر رویت گردید. به نظر می‌رسد کمپلکس‌های تشکیل شده بسیار نسبت به گرما حساس بودند و استفاده از حرارت برای خشک کردن آن‌ها منجر به تخریب کمپلکس و آزاد شدن روغن پوشش داده شده گردیده است. آلویم و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که روش‌های خشک کردن میکروکپسول‌ها می‌تواند پیوستگی دیواره را طی خشک کردن تخریب کند (۱). نتایج آن‌ها نشان داد زمانی که پیوند عرضی به منظور مستحکم کردن

- with SPI/pectin. *Food Research International*. 42: 1099–1104.
8. Nepal, P.R., Han, H.K., and Choi, H.K. 2010. Enhancement of solubility and dissolution of Coenzyme Q10 using solid dispersion formulation. *International Journal of Pharmaceutics*. 383: 147–153.
 9. Omar, K.A., Shan, L., Zou, X., Song, Z., and Wang, X. 2009. Effects of two emulsifiers on yield and storage of flax oil powder by response surface methodology. *Pakistan Journal of Nutrition*. 8: 1316-1324.
 10. Pravst, I., Zmitek, K., and Zmitek, J. 2010. Coenzyme Q10 Contents in Foods and Fortification Strategies. *Food Science and Nutrition*. 50: 269-280.
 11. Quispe-Condori, S., Marleny, S., and Temelli, T. 2011. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. *Food Science and Technology*. 67: 1-8.
 12. Schmitt, C., Sanchez, C., Despond, S., Renard, D., Thomas, F., and Hardy, J. 1999. Complex coacervation between β -lactoglobulin and acacia gum in aqueous medium. *Food Hydrocolloid*. 13: 483-496.
 13. Tamjidi, F., Nasirpour, A., and Shahedi, M. 2013. Mixture design approach for evaluation of fish oil microencapsulation in gelatin-acacia gum coacervates. *International Journal of Polymeric Material*. 62: 444-449.
 14. Weinbreck, F., Minor, M., and Kruif, C.G. 2004. Microencapsulation of oils using whey protein/gum Arabic coacervates. *Journal of Microencapsulation*. 21: 667–679.
 15. Yeo, Y., Bellas, E., Firestone, W., Langer, R., and Kohane, D.S. 2005. Complex coacervates for thermally sensitive controlled release of flavor compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 7518-7525.

استفاده از خشک‌کن انجمادی مناسب‌ترین راه برای خشک کردن میکروکپسول‌ها است.

منابع

1. Alvim, I.D., and Grosso, C.R.F. 2010. Microparticles obtained by complex coacervation: influence of the type of reticulation and the drying process on the release of the core material. *Food science and Technology*. 30: 1069-1076.
2. Bule, M.V., Singhal, R.S., and Kennedy, J.F. 2010. Microencapsulation of ubiquinone-10 in carbohydrate matrices for improved stability. *Carbohydrate polymers*. 82: 1290-1296.
3. Burgess, D.J., and Carless, J.E. 1984. Microelectrophoretic studies of gelatin and acacia for the prediction of complex coacervation. *Journal of Colloid and Interface Science*. 98: 1–8.
4. Burgess, D.J., and Ponsart, S. 1998. Beta-Glucuronidase activity following complex coacervation and spray drying microencapsulation. *Journal of Microencapsulation*. 15: 569-579.
5. Fir, M.M., Luka, M., Mirko, P., and Andrej, S. 2009. Property Studies of Coenzyme Q10–Cyclodextrins complexes. *Acta Chimica Slovenica*. 56: 885-891.
6. Junyaprasert, V.B., Mitrevej, A., Sinchaipanid, N., Boonme, P., and Wurster, D.E. 2001. Effect of process variables on the microencapsulation of vitamin A palmitate by gelatin–acacia coacervation. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 27: 561–566.
7. Mendanha, D.V., Ortiz, S.E.M., Favaro-Trindade, C.S., and Mauri, A. 2009. Monterrey-Quintero and M. Thomazini. Microencapsulation of casein hydrolysate by complex coacervation

Microencapsulation of Q₁₀ by complex coacervation method

N. Ahmadi^{1*}, A. Nasirpour², M. Sheikhzeinnodin³ and J. Keramat⁴

¹M.Sc. graduate, Department of Food science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran, ²Assistant Professor, Department of Food science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran, ³Associate professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran
⁴Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran

Received: 2015/10/25; Accepted: 2016/12/18

Abstract

Background and objectives: CoQ₁₀ is a lipophilic natural antioxidant with fundamental role in mitochondria bioenergetics. The positive effect of CoQ₁₀ in therapy of many diseases is attributed to its antioxidant and bioenergetics properties. Reduction of endogenous synthesis of CoQ₁₀ by the ageing, insufficient amount in the food and several health benefits of CoQ₁₀ have led to food fortification. The objective of this study was to microencapsulate CoQ₁₀ by complex coacervation method and determine of optimum mixture component (β -lactoglobulin (β -lg), Arabic Gum (AG), Oil containing CoQ₁₀ and water) to achieve maximum value of microencapsulation efficiency (ME) and payload. Due to temperature sensitive characteristic of CoQ₁₀, Gelatin was replaced with β -lg and combination of β -lg and AG were used to microencapsulation of Oil containing CoQ₁₀.

Materials and methods: At first CoQ₁₀ powder and olive oil were poured in opaque tube and stirred in incubator shaker for 24h. Then solutions of β -lg and GA were prepared at 1-4% (w/w), by dispersing the required amount of them in deionized water and microcapsules were formed by adding oil phase containing CoQ₁₀ to the β -lg solution and preparation of emulsion, adding the GA solution and adjusting pH to 4. After separation of microcapsules freeze dryer was used to dehydration of them, and Morphology of CoQ₁₀ microcapsules was examined using a Scanning Electron Microscope (SEM) and an optical microscope. The particle size and the particle size distribution of moist microcapsules were determined using a particle size analyzer. In the next stage it was used from n-hexane to extracting oil and extracted oil was dissolved in 1,4-dioxane and analyzed by a high performance liquid chromatography (HPLC) system, and microencapsulation efficiency was calculated for microcapsules before and after freeze drying. At the end the effect of oven drying and defrost on microencapsulation efficiency was studied for 5 formulations.

Results: ME values before drying for all formulations except one sample (containing: 4% β -lg, 4%AG, 5%Oil and 87% water) were in the range of 94.05-99.01%. Variation in ME and payload values after freeze drying was in the range of 34.91-92.45 and 24.78-83.75%, respectively and sample containing 2.5% (w/w) β -lg and 2.5% (w/w) AG and 5 % (w/w) oil obtained the highest ME value, an homogeneous particle size distribution and had a smooth and free of pores surface.

Conclusion: Based on the results, formulation containing 2.5% (w/w) β -lg and AG and 5 % (w/w) oil can be successfully used to microencapsulation of CoQ₁₀.

Keywords: Microencapsulation, CoQ₁₀, Complex coacervation, Microencapsulation efficiency, payload.

*Corresponding author: nadiaahmadi_h@yahoo.com

