



ریزپوشانی عصاره دانه چیا (*Saliva hispanica L*) با نانولیپوزوم و صمغ دانه ریحان و بررسی خصوصیات

فیزیکوشیمیایی و رهایش آن در شرایط شبیه‌سازی شده گوارشی

فریناز حسینی<sup>۱</sup>، علی معتمدزادگان<sup>۲\*</sup>، شهرام نقی‌زاده ریسی<sup>۳</sup>، سمیه رهایی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی، آمل.

۲- دکتری علوم و مهندسی صنایع غذایی، استاد تمام علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۳- دکتری مهندسی علوم و صنایع غذایی-میکروبیولوژی موادغذایی، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آیت الله آملی، آمل.

۴- دکتری بیوتکنولوژی موادغذایی، استادیار گروه زیست فناوری میکروبی، دانشگاه تخصصی فناوریهای نوین آمل، آمل.

## چکیده

## اطلاعات مقاله

### تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

### کلمات کلیدی:

ریزپوشانی،

عصاره دانه چیا،

نانولیپوزوم،

صمغ دانه ریحان،

رهایش.

دانه چیا به عنوان منبع غنی از ترکیبات زیست فعال و عملگرا مورد توجه می باشد. با توجه به اینکه ترکیبات زیست فعال در برابر عوامل محیطی ناپایدار هستند پایداری این ترکیبات حائز اهمیت بوده و درون پوشانی روشی مفید برای افزایش پایداری این ترکیبات می باشد. در این تحقیق نانو کپسول عصاره دانه چیا با نانو لیپوزوم و صمغ دانه ریحان تولید شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رهایش آن بررسی گردید. ابتدا نانو لیپوزوم‌ها با استفاده از لسیتین (درصد ثابت) و غلظت‌های مختلف عصاره دانه چیا تهیه شده و سپس با سه سطح صمغ دانه ریحان پوشش‌دهی شدند. اندازه ذرات، شاخص پراکندگی، کارایی ریزپوشانی و پتانسیل زتای نانولیپوزوم‌ها و نانوکپسول‌های تولیدی بررسی شده و سپس ریزساختار، طیف FTIR نمونه برتر و همچنین رهایش عصاره دانه چیا از نانوکپسول تحت شرایط شبیه‌سازی شده معده و روده مورد بررسی قرار گرفت. کمترین میانگین اندازه ذرات (۵۹/۲۳ نانومتر)، شاخص PDI پایین (۰/۳۲۸) و راندمان کپسوله‌سازی بالا (۸۰/۰۶ درصد) در نانوکپسول‌های حاوی ۰/۵ درصد عصاره دانه چیا پوشش داده شده با ۱ درصد صمغ دانه ریحان (L0.5BSG1) مشاهده شد. از آنجایی که پتانسیل زتای نانوذرات تولیدی در این تحقیق بالاتر از  $30 \pm$  میلی‌ولت بود، بنابراین از پایداری خوبی نیز برخوردار بودند. بر اساس تصاویر TEM، نانوکپسول‌های L0.5BSG1 شکل کروی و نامنظم داشته و تمایل کمی به تجمع نشان دادند. نتایج طیف‌سنجی FTIR نشان‌دهنده برهمکنش فیزیکی بین اجزای نانوکپسول بود و همچنین وجود ترکیبات فنلی در نانوکپسول‌ها را تایید کرد. از لحاظ میزان رهایش ترکیبات فنلی در شرایط شبیه‌سازی شده معده و روده، نانوکپسول‌های تولیدی نسبت به عصاره دانه چیا آزاد، دارای سرعت رهایش آهسته‌تری بودند و رهایش عصاره در شرایط معده سریع‌تر از شرایط روده صورت گرفت. در نهایت، نتایج این مطالعه نشان داد که نانوکپسول‌های (L0.5BSG1) احتمالاً می‌توانند با موفقیت در صنایع دارویی و غذایی مورد استفاده قرار گیرند.

DOI: 10.22034/FSCT.19.127.291

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.127.23.6

\* مسئول مکاتبات:

amotgan@mstp.ir

## ۱- مقدمه

چیا با نام علمی *Saliva hispanica L.* یک گیاه یکساله متعلق به خانواده *Lamiaceae* است که بومی مکزیک و گواتمالا می‌باشد [۱]. دانه‌های چیا غنی از پروتئین، اسیدهای چرب امگا ۳، فیبرهای رژیمی، مواد معدنی، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌های پلی‌فنلی هستند و همچنین اثرات سلامت‌بخش مختلفی مانند بهبود هضم، کاهش وزن، پاکسازی روده، بهبود سلامت مغز و قلب، بهبود سیستم ایمنی، تنظیم قند خون و غیره را دارا می‌باشند [۲]. حضور سطوح بالای پلی‌فنل‌های مختلف نظیر اسید کلرژنیک، اسید کافنیک، اسید رزمارینیک، کوئرستین، اسید گالیک، میریستین، اسید سینامیک و کامفرول در دانه چیا گزارش شده است [۳]. امروزه تقاضا برای محصولات غذایی با ترکیبات زیست‌فعال افزایش یافته است با این حال، به دلیل حضور باندهای غیراشباع در ساختار مواد زیست‌فعالی گیاهی، اکثر این ترکیبات غیرپایدار هستند و زمانی که در معرض حرارت، اکسیژن و نور قرار می‌گرفتند، به سرعت تجزیه می‌شوند. ریزپوشانی به عنوان یک تکنولوژی مؤثر برای افزایش پایداری مواد زیست‌فعال حساس و رهایش کنترل شده ترکیبات عملگرا طی دوره نگهداری مطرح شده است [۴]. ریزپوشانی فرایندی است که طی آن، مواد فعال و حساس به وسیله حامل‌ها یا مواد دیواره پوشانده می‌شوند. استفاده از این مواد دیواره می‌تواند پایداری ترکیبات را در مقابل استرس‌های محیطی (نظیر رطوبت، نور، اکسیژن و pH های مختلف) و همچنین در برابر شرایط دستگاه گوارش بدن بهبود بخشد. این تکنولوژی کاربردهای مختلفی در صنایع غذایی و دارویی دارد [۵ و ۶]. فرآیند ریزپوشانی می‌تواند علاوه بر محافظت از ترکیبات زیست‌فعال و رهایش کنترل شده‌ی آن‌ها طی زمان، موجب پوشاندن طعم، بو و رنگ نامطلوب برخی از ترکیبات فرمولاسیون‌های غذایی گردد [۵]. فرآیند ریزپوشانی بر اساس مقیاس ذرات تولید شده، به دو دسته میکروکپسولاسیون (ذرات دارای اندازه ۱۰۰-۱ میکرومتر) و نانوکپسولاسیون (ذراتی دارای اندازه ۱۰-۱۰۰۰ نانومتر) طبقه‌بندی می‌شود [۷]. مواد مختلفی از جمله کربوهیدرات‌ها، صمغ‌ها، پروتئین‌ها و لیپیدها به تنهایی یا به طور ترکیبی به‌عنوان مواد دیواره جهت تولید کپسول‌ها مورد

استفاده قرار می‌گیرند و نوع مواد دیواره مورد استفاده می‌تواند بر کارایی ریزپوشانی و رهایش ترکیبات فعال اثر گذارد [۸]. سیستم‌های حال بر پایه لیپیدها نظیر لیپوزوم‌ها و نانولیپوزوم‌ها، فناوری‌های پرکاربرد برای افزایش دسترسی زیستی، حلالیت و پایداری مواد فنلی هستند. این سیستم‌ها حامل‌های کیسه‌مانند می‌باشند که از لایه‌های منفرد یا چندگانه فسفولیپیدها تشکیل شده‌اند که دارای هر دو بخش آب‌دوست و آبگریز می‌باشند و بنابراین برای ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال دارای ماهیت چربی‌دوست، آب‌دوست و آمفی‌فیل<sup>۱</sup> می‌توان از آن‌ها استفاده نمود [۹]. از روش‌های مختلفی می‌توان برای تولید لیپوزوم‌ها استفاده نمود که شامل تبخیر با حلال، آب‌گیری لایه نازک، تشکیل الکتریکی، پرولیپوزوم<sup>۲</sup>، دیالیز، فراصوت، اکستروژن غشایی، میکروسیال‌سازی<sup>۳</sup>، هموژنیزاسیون با فشار بالا و خشک‌کن انجمادی می‌باشند [۱۰].

ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* یک گیاه خوراکی رایج است که طعم و عطر منحصر به فردی دارد و حاوی مقادیر قابل توجهی صمغ یا موسیلاژ می‌باشد. صمغ دانه ریحان حاوی کربوهیدرات (۷۹/۶ درصد)، چربی (۹/۷ درصد)، رطوبت (۸/۱ درصد)، خاکستر (۳/۳ درصد)، پروتئین (۱/۶ درصد) و نشاسته (۱/۵ درصد) است [۱۱]. این صمغ ارزان قیمت، در دسترس و غیر سمی است و خواص فیزیوشیمیایی بسیار خوبی از جمله ویسکوزیته بالا، قابلیت جذب آب بالا، رفتار رقیق‌شونده با برش، رفتار سودوپلاستیک، مقاومت گرمایی، خواص تثبیت‌کنندگی و امولسیون‌کنندگی دارد [۱۲]. مطالعات پیشین نشان داده است که صمغ دانه ریحان می‌تواند به عنوان یک ماده دیواره مناسب برای ریزپوشانی ترکیبات زیست‌فعال مورد استفاده قرار گیرد [۱۳ و ۱۴]. اگرچه ریزپوشانی کردن اسانس و عصاره دانه چیا توسط مواد دیواره مختلف در تحقیقات پیشین مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۵ و ۱۶] ولی تاکنون اثر نانولیپوزوم در ترکیب با صمغ بر خصوصیات فیزیوشیمیایی و پایداری عصاره دانه چیا مورد مطالعه قرار نگرفته است. بنابراین، هدف از این تحقیق، استخراج

1. Amphiphilic  
2. Proliposome  
3. Micro-fluidization

عصاره دانه چیا و ریزپوشانی کردن آن با نانولیپوزوم و صمغ دانه ریحان بود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

دانه چیا و پودر صمغ ریحان به ترتیب از هایپرمارکت و آزمایشگاه پارک علم و فناوری در ساری تهیه شد. لسیتین با خلوص ۹۹ درصد از شرکت America Across خریداری شد. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت سیگما آلد ریچ آمریکا تهیه شدند.

### ۲-۲- تهیه عصاره دانه چیا به روش ماسراسیون

برای تهیه عصاره دانه چیا، ابتدا دانه چیا خشک شده و توسط آسیاب پودر گردید و سپس پودر آن در نسبت ۱ به ۱۰ به اتانول ۵۰٪ افزوده شده و عمل اختلاط در بازه زمانی ۲۴ ساعت و در دمای اتاق، بر روی همزن مغناطیسی انجام گرفت. سپس عصاره حاصله به وسیله صافی تحت خلاء فیلتر شده و پس از آن با عبور از کاغذ صافی واتمن شماره ۴ صاف شد. در نهایت، عصاره با استفاده از دستگاه اواپراتور چرخان تغلیظ شده و سپس توسط دستگاه خشک‌کن انجمادی به پودر تبدیل گردید و در دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شد [۱۶].

### ۲-۳- تهیه نانولیپوزوم‌ها و نانوکپسول‌های

### بارگذاری شده با عصاره دانه چیا

ابتدا نانولیپوزوم‌های عصاره دانه چیا تهیه شده و سپس این

نانولیپوزوم‌ها با غلظت‌های مختلف صمغ دانه ریحات پوشانده شدند. به منظور تهیه نانولیپوزوم‌ها به روش هیدراتاسیون لایه نازک [۱۷]، ابتدا غلظت‌های مختلف عصاره دانه چیا در مخلوط لسیتین/کلروفورم (به نسبت ۱:۱) حل شد و سپس حلال با استفاده از اواپراتور چرخشی به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۵ درجه سلسیوس خارج گردید. پس از آن، با آون تحت خلاء با دمای ۴۰ درجه سلسیوس به پودر تبدیل شد. این لیپوزوم‌ها دارای مقیاس میکرومتر بودند و ساختاری چند لایه داشتند و برای تبدیل آن‌ها به مقیاس نانومتر، فیلم‌های لیپوزومی در ۲۰ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۱۰ میلی‌مولار با pH ۷ حل شده و سپس سونیکاسیون محلول‌ها با قدرت ۴۰۰ وات توسط دستگاه سونیکاتور پروب (۲ سیکل ۲ دقیقه‌ای با ۱۰ ثانیه استراحت بین سیکل‌ها) انجام گرفت و بدین طریق لیپوزوم‌های تک لایه در مقیاس نانومتر به دست آمدند. به منظور پوشش‌دهی نانولیپوزوم‌های حاوی عصاره دانه چیا با صمغ دانه ریحان، ابتدا محلول‌های صمغ از طریق حل کردن غلظت‌های مختلف آن در ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه و سپس هم زدن با دور rpm ۱۵۰۰ و در آخر نگهداری در یخچال به مدت یک شبانه‌روز به دست آمد. محلول صمغ به صورت قطره قطره به سوسپانسیون لیپوزوم (در حجم برابر) اضافه شده و به مدت ۲ ساعت در ۸۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. در نهایت نانوکپسول‌های حاوی نانولیپوزوم‌های عصاره دانه چیا توسط خشک‌کن انجمادی به مدت ۱۹ ساعت در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس پودر شدند. در این تحقیق ۱۳ تیمار نانولیپوزوم و نانوکپسول مورد بررسی قرار گرفت که در جدول ۱ آورده شده است.

**Table 1** Different chia seed extract-loaded nanoliposomes and nanocapsules

Codes	Treatments
L0	Empty liposomes
L0.5BSG0	Liposomes with 0.5% of chia seed extract
L1BSG0	Liposomes with 1.0% of chia seed extract
L1.5BSG0	Liposomes with 1.5% of chia seed extract
L0.5BSG0.5	Liposomes with 0.5% of extract coated with 0.5% of basil seed gum
L0.5BSG1	Liposomes with 0.5% of extract coated with 1.0% of basil seed gum
L0.5BSG1.5	Liposomes with 0.5% of extract coated with 1.5% of basil seed gum
L0.5BSG0.5	Liposomes with 1.0% of extract coated with 0.5% of basil seed gum
L0.5BSG1	Liposomes with 1.0% of extract coated with 1.0% of basil seed gum
L0.5BSG1.5	Liposomes with 1.0% of extract coated with 1.5% of basil seed gum
L0.5BSG0.5	Liposomes with 1.5% of extract coated with 0.5% of basil seed gum
L0.5BSG1	Liposomes with 1.5% of extract coated with 1.0% of basil seed gum
L0.5BSG1.5	Liposomes with 1.5% of extract coated with 1.5% of basil seed gum

## ۲-۴- تعیین اندازه ذرات، شاخص یکنواختی (PDI) و پتانسیل زتا

میانگین اندازه ذرات و شاخص PDI نمونه‌ها با پراکندگی نور دینامیکی (DLS) با استفاده از (Malvern) Zetasizer (انگلستان) تعیین شد. برای آماده‌سازی اولیه نمونه‌های کپسول، نمونه‌ها با آب مقطر تا ۱۰ برابر حجم خود رقیق شدند [۱۸]. در ابتدا نمونه‌های کپسول با آب مقطر در ۵۰ برابر حجم آن رقیق شد و مقدار پتانسیل زتا در توان ۱۴۹ وات، pH ۷/۴ و دمای ۲۵ درجه سلسیوس تعیین گردید.

## ۲-۵- تعیین کارایی ریزپوشانی

محتوای فنل کل نمونه‌های کپسول برای تعیین کارایی کپسولاسیون مورد ارزیابی قرار گرفت. ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه کپسول به ۲ میلی‌لیتر از مخلوط متانول-اسید استیک-آب (نسبت ۵۰:۸:۴۲ حجمی/حجمی/حجمی) اضافه شد و پس از هم زدن به مدت ۱ دقیقه، اولتراسوند در دو سیکل به مدت ۲۰ دقیقه انجام شد. فرکانس ۲۰ کیلوهرتز در نظر گرفته شد. سپس با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و میزان فنل کل موجود در محلول فوقانی به روش فولین-سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. مقدار اولیه ترکیبات فنلی نیز تعیین شد و از طریق رابطه زیر، درصد کارایی ریزپوشانی نمونه‌ها به دست آمد [۱۹].

$$100 \times (\text{کل فنل موجود در کپسول} / \text{مقدار اولیه فنل کل}) = \text{کارایی ریزپوشانی} (\%)$$

## ۲-۶- مطالعه مورفولوژی کپسول

مورفولوژی نانوکپسول با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) (JEOL Inc., MA, USA) در ولتاژ ۲۰۰ کیلوولت مورد مطالعه قرار گرفت [۲۰].

## ۲-۷- بررسی طیف‌سنجی FTIR

روش دیسک KBr و طیف‌سنج FTIR (Perkin Elmer Company, Waltham, USA) در محدوده عدد موج  $\text{cm}^{-1}$  ۴۰۰۰ تا ۴۰۰ برای بررسی گروه‌های عاملی در نانوکپسول، عصاره دانه چیا و صمغ دانه ریحان مورد استفاده قرار گرفت [۲۱].

## ۲-۸- مطالعه رهائش عصاره دانه چیا از نانوکپسول به داخل محیط‌های شبیه‌سازی شده‌ی معده و روده

رهائش عصاره دانه چیا در مدل سیستم گوارشی در شرایط آزمایشگاهی (در معده و روده) مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور، ۵۰ میلی‌گرم از نمونه نانوکپسول به کیسه دیالیز ۱۲ کیلو دالتون منتقل شده و ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات (با pH ۷/۴) برای روده و ۱/۲ pH برای شرایط معده) به آن اضافه گردید. این کیسه دیالیز سپس در محیط رهائش حاوی ۲۰ میلی‌لیتر بافر فسفات غوطه‌ور شد. پس از آن، ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات در زمان‌های معین برداشته شده و با اسپکتروفتومتر UV-Vis در طول موج ۴۴۰ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت و ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات تازه در کیسه دیالیز جایگزین آن شد. با تعیین میزان جذب در زمان‌های خاص، منحنی رهائش عصاره دانه چیا از نانوکپسول‌های L0.5BSG1 در طول زمان ترسیم شد [۲۲].

## ۲-۹- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری در سه تکرار برای تمامی نمونه‌ها و آزمایش‌ها انجام شد و داده‌های به دست آمده به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار بیان شدند. تجزیه و تحلیل آنالیز یک طرفه واریانس (ANOVA)، آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن و نرم‌افزار IBM SPSS 22.0 (شیکاگو، ایالات متحده) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در سطح معنی‌داری  $p < 0.05$  استفاده گردید.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- اندازه ذرات و شاخص PDI

اندازه ذرات و شاخص PDI پارامترهای مهمی در ارزیابی ویژگی‌های سیستم‌های کلونیدی، به ویژه پایداری و کارایی ریزپوشانی، هستند. هرچه اندازه ذرات کوچکتر باشد، پایداری بالاتری از خود نشان می‌دهد، زیرا ذرات کوچکتر مقاومت بیشتری در برابر گرائش دارند [۲۳]. شاخص PDI نانوذرات نیز به طور کلی در محدوده صفر تا یک قرار دارد و مقادیر PDI

داده است که نوع موادی که برای پوشش کپسول‌ها استفاده می‌شود، تأثیر بسزایی در اندازه ذرات آن‌ها دارد [۲۹].

### ۳-۲- کارایی انکپسولاسیون

کارایی ریزپوشانی یک پارامتر مهم برای تعیین اثربخشی فرآیند ریزپوشانی است. در این آزمایش میزان ترکیبات زیست‌فعال محبوس شده در هسته کپسول‌ها اندازه‌گیری می‌شوند. به طور کلی، اگر تقریباً تمام پلی‌فنل‌ها یا ترکیبات زیست‌فعال به طور کامل در داخل مواد دیواره محبوس شوند، فرآیند ریزپوشانی بالاترین کارایی را خواهد داشت. مقادیر کارایی ریزپوشانی نانولیپوزوم‌ها و نانوکپسول‌های تولید شده در این تحقیق در محدوده ۶۶/۴۶ تا ۸۸/۸۲ درصد متغیر است (جدول ۲). بیشترین و کمترین کارایی ریزپوشانی به ترتیب در کپسول‌های L0.5BSG0 و L1BSG0.5 مشاهده گردید. در نانولیپوزوم‌های پوشش‌دهی نشده با صمغ، افزایش عصاره در نمونه‌ها، میزان کارایی ریزپوشانی را کاهش داد. تحقیقات پیشین نیز کاهش کارایی ریزپوشانی در نانولیپوزوم‌های حاوی سطوح بالای ترکیبات فنولی را گزارش کرده‌اند و این موضوع را در ارتباط با از هم گسستن غشای لیپوزوم در حضور مقادیر بالای ترکیبات فعال و در نتیجه خروج ترکیبات فعال از داخل لیپوزوم‌ها دانستند [۳۰]. ولی در نمونه‌های نانولیپوزوم پوشش‌دهی شده با صمغ دانه ریحان، با افزایش غلظت عصاره دانه چیا از ۰/۵ تا ۱ درصد، میزان کارایی ریزپوشانی افزایش یافت، ولی افزایش غلظت عصاره از ۱ تا ۱/۵ درصد موجب کاهش کارایی گردید. این نتایج نشان می‌دهد که در نانولیپوزوم‌های پوشش‌دهی شده با صمغ دانه ریحان، در اثر واکنش بین نانولیپوزوم و پوشش صمغ دانه ریحان ساختار منسجم‌تری ایجاد شده و قابلیت حفظ مقادیر بالاتر عصاره بهبود می‌یابد، با این حال استفاده از سطوح بالاتر عصاره، موجب قرارگیری بخشی از عصاره بر روی سطح نانوذرات تولیدی شده و در نتیجه آن کاهش در کارایی مشاهده می‌گردد. با افزایش غلظت صمغ دانه ریحان نیز روندی مشابه با افزایش غلظت عصاره دانه چیا مشاهده شد، به طوری که نمونه‌های نانولیپوزوم حاوی عصاره دانه چیا پوشش‌دهی شده با غلظت ۱ درصد صمغ، دارای کارایی ریزپوشانی کمتری نسبت به نمونه‌های پوشش‌دهی شده با سطوح ۰/۵ و ۱/۵ درصد صمغ

بالاتر از ۰/۵ نشان‌دهنده غیریکنواختی سیستم می‌باشد [۲۴]. در جدول ۲، میانگین قطر متوسط ذرات و شاخص PDI نانولیپوزوم‌ها و نانوکپسول‌های بارگذاری شده با عصاره دانه چیا قابل مشاهده است. میانگین قطر متوسط ذرات و مقادیر شاخص PDI نانولیپوزوم‌ها و نانوکپسول‌های تولید شده در این تحقیق به ترتیب در محدوده ۱۳۶/۸۳-۵۹/۲۳ نانومتر و ۰/۴۶۷-۰/۳۱۸ قرار داشت. از آنجایی که مقدار شاخص PDI همه نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ بود، بنابراین پراکندگی اندازه ذرات یکنواختی داشتند. در نانولیپوزوم‌های بدون پوشش، افزایش سطوح عصاره از ۰/۵ تا ۱/۵ درصد منجر به افزایش میزان اندازه ذرات گردید. این افزایش احتمالاً در ارتباط با قرارگیری مقادیر کمتر عصاره در پوشش نانولیپوزومی و قرارگیری بخشی از آن در سطح نانوذرات تولیدی می‌باشد [۲۵]. نقوی و همکاران نیز به طور موافق با این نتایج اظهار داشتند که در فرآیند ریزپوشانی عصاره چای سبز با نانولیپوزوم، با افزایش غلظت عصاره، قطر متوسط ذرات نیز افزایش یافت [۲۶]. با این حال، در نانولیپوزوم‌های پوشش‌دهی شده با ۰/۵ و ۱ درصد صمغ دانه ریحان، افزایش غلظت عصاره در ابتدا اندازه ذرات را کاهش داده و سپس موجب افزایش اندازه ذرات گردید. با این حال، در نانولیپوزوم‌های پوشش‌دهی شده با ۱/۵ درصد، افزایش سطح عصاره تغییر معنی‌داری در اندازه ذرات تولیدی ایجاد نکرد. افزایش غلظت صمغ دانه ریحان از ۰/۵ تا ۱/۵ درصد نیز منجر به افزایش قطر متوسط ذرات در سطوح ثابت عصاره گردید. به طور کلی، بیشترین قطر متوسط ذرات مربوط به نانولیپوزوم تهیه شده با ۱/۵ درصد عصاره دانه چیا (L1.5BSG0) بود و نانولیپوزوم حاوی ۰/۵ درصد عصاره پوشش‌دهی شده با ۱ درصد صمغ دانه ریحان (L0.5BSG1) کمترین قطر متوسط ذرات را نشان داد. در تحقیق صورت گرفته توسط رشیدایی آبندانسری و همکاران، اندازه ذرات کپسول‌های عصاره زرماری تهیه شده با صمغ دانه ریحان ۱۵۴/۹ نانومتر به دست آمد که در محدوده نتایج حاصله توسط پژوهش حاضر بود [۲۷]. کمیجانی و همکاران بیان کردند که اندازه ذرات کپسول‌های حاوی ویتامین D3 و ترکیبات زیست‌فعال زعفران پوشش‌دهی شده با صمغ دانه ریحان و کنسانتره پروتئین آب پنیر در محدوده ۱۱۵-۳۸۵ نانومتر قرار داشت [۲۸]. تحقیقات نشان

درصد به دست آمد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت [۳۲]. کارایی ریزپوشانی پلی‌فنل‌ها برای نانوکپسول‌های تولید شده توسط صمغ دانه ریحان در مطالعه انجام شده توسط دلفانیان و همکاران بالاتر از میزان به دست آمده در پژوهش حاضر (۹۲/۸۸ درصد) گزارش گردید [۳۳] با این حال، رشیدایی آبدان‌سری و همکاران، کارایی ریزپوشانی پایین‌تری (۵۸/۷۱ درصد) برای نانوکپسول‌های عصاره رزماری تهیه شده با صمغ دانه ریحان مشاهده کردند [۲۷].

بودند. مورالس اولان و همکاران مشاهده کردند که افزایش غلظت عصاره دانه چیا در نانوکپسول‌های تهیه شده با کیتوزان باعث کاهش کارایی کپسولاسیون گردید. به گفته محققان، با افزایش سطح عصاره، بیشترین حجم عصاره به جای قرارگیری در مرکز ذرات تولیدی، جذب سطح آن‌ها می‌شود، بنابراین میزان بازده ریزپوشانی کاهش می‌یابد. مقادیر کارایی کپسولاسیون در این تحقیق در محدوده ۹۲/۷-۱۱/۸ درصد قرار داشت [۳۱]. کارایی ریزپوشانی روغن دانه چیا ریزپوشانی شده با مالتودکسترین و صمغ عربی نیز در یک پژوهش دیگر ۶۷/۳۶

**Table 2** Comparison of the mean particle size, PDI index and encapsulation efficiency of the CSE-loaded Nano-capsules

Samples	Particle size (nm)	PDI index	Encapsulation efficiency (%)	Zeta potential (mV)
L0	89.33 ± 3.18 e	0.318 ± 0.028 e	-	-40.25 ± 0.87 d
L0.5BSG0	121.97 ± 5.53 b	0.443 ± 0.016 abc	88.82 ± 0.19 a	-39.79 ± 1.15 d
L1BSG0	124.20 ± 4.69 b	0.467 ± 0.010 a	79.86 ± 0.55 c	-39.14 ± 0.82 d
L1.5BSG0	136.83 ± 2.73 a	0.419 ± 0.015 cd	69.48 ± 0.31 g	-38.46 ± 0.95 d
L0.5BSG0.5	112.07 ± 3.00 c	0.399 ± 0.011 d	72.80 ± 0.30 e	-43.16 ± 0.96 c
L0.5BSG1	59.23 ± 1.75 f	0.328 ± 0.017 e	80.06 ± 0.53 c	-44.47 ± 0.73 c
L0.5BSG1.5	109.33 ± 0.87 d	0.428 ± 0.025 bcd	73.15 ± 0.17 e	-43.51 ± 1.12 c
L1BSG0.5	122.60 ± 5.40 b	0.401 ± 0.014 d	66.46 ± 0.37 h	-46.13 ± 0.57 b
L1BSG1	113.27 ± 2.25 c	0.437 ± 0.012 bc	74.48 ± 0.31 d	-45.77 ± 0.81 b
L1BSG1.5	120.23 ± 4.85 b	0.332 ± 0.012 e	71.42 ± 0.29 f	-45.54 ± 0.48 b
L1.5BSG0.5	127.50 ± 3.40 b	0.344 ± 0.014 e	74.56 ± 0.17 d	-48.05 ± 0.77 a
L1.5BSG1	126.67 ± 2.96 b	0.464 ± 0.016 ab	86.87 ± 0.10 b	-46.93 ± 0.94 a
L1.5BSG1.5	120.93 ± 4.77 b	0.427 ± 0.011 c	74.97 ± 0.26 d	-48.19 ± 0.50 a

Values represent mean (n=3) ± SD. Different letters in each column represent significant difference at 5% level of probability among samples.

غلظت صمغ دانه ریحان مورد استفاده جهت پوشش‌دهی نانولیپوزوم‌های عصاره دانه چیا از ۰/۵ تا ۱/۵ درصد، میزان بار منفی سطوح ذرات را به دلیل خصوصیات آنیونی صمغ‌ها افزایش داده و بنابراین پتانسیل زتا افزایش نشان داد. افزایش در بار منفی نانوذرات عصاره دارچین در اثر افزایش غلظت صمغ زانتان نیز به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر توسط محمد و همکاران گزارش گردید [۳۵]. افزایش غلظت عصاره دارچین در تحقیق آن‌ها همچنین منجر به کاهش بار منفی گردید. نقوی و همکاران [۲۶] نیز بیان کردند که با افزایش غلظت عصاره چای سبز در نانولیپوزوم‌ها، کاهش در کارایی ریزپوشانی رخ داده و عصاره بیشتری در سطوح نانوذرات قرار گرفته و در نتیجه پتانسیل زتای نانوذرات تولیدی کاهش یافت. به طور کلی، از آنجایی که نانولیپوزوم‌ها (۳۸/۴۶- تا ۴۰/۲۵- میلی‌ولت) و نانوکپسول‌های (۴۳/۱۶- تا ۴۸/۱۹- میلی‌ولت) تولیدی در این تحقیق دارای

### ۳-۳- پتانسیل زتا

بار الکتریکی روی سطوح نانولیپوزوم‌ها و نانوکپسول‌ها توسط Zetasizer تعیین شد و نتایج آن جدول ۲ آورده شده است. پتانسیل زتا نشان‌دهنده پایداری امولسیون و بار الکتریکی سطحی ذرات است. هر چه پتانسیل زتای سیستم بیشتر باشد، نیروی دافعه الکترواستاتیک افزایش یافته و ذرات تولیدی در برابر تجمع و ته‌نشینی پایدارتر می‌باشند. از سوی دیگر در ذرات دارای بار سطحی بالاتر، برهمکنش ذرات و سلول افزایش یافته و تحویت ترکیبات زیست‌فعال بهتر انجام می‌گیرد. مقدار پتانسیل زتای مطلوب بالای ۳۰ میلی‌ولت پیشنهاد شده است [۳۴]. در اثر بارگذاری عصاره دانه چیا و افزایش غلظت عصاره در نانولیپوزوم‌های بدون پوشش، میزان پتانسیل زتا کاهش یافت، ولی تغییرات آن چندان قابل توجه نبود. با این حال، افزایش

نامنظم در ساختار نانوکپسول‌های تولیدی، استفاده از فرآیند خشک کردن انجام‌داده می‌باشد. ساختار نامنظم کپسول‌های حاوی پلی‌فنل‌ها به دلیل استفاده از روش خشک کردن انجام‌داده توسط سایر محققان نیز گزارش شده است [۴، ۳۷، ۳۸]. گهرویی و همکاران در بررسی مورفولوژی کپسول‌های ویتامین D3 و ترکیبات زیست‌فعال زعفران تهیه شده با صمغ دانه ریحان و کنسانتره پروتئین آب پنیر گزارش کردند که کپسول‌های تولید شده دارای شکل کروی بودند [۳۹]. کوزنتکوا و همکاران دریافتند که نوع مواد مورد استفاده برای پوشش نانولیپوزوم‌ها بر مورفولوژی آن‌ها تأثیر می‌گذارد، به طوری که نانولیپوزوم‌های تهیه شده با صمغ دانه چیا شکل یکنواخت‌تری نسبت به نانولیپوزوم‌های پوشش داده شده با صمغ کلزا داشتند [۴۰]. در تحقیق صورت گرفته توسط دکامپو و همکاران [۴۱] نیز نشان داده شد که نانوذرات روغن دانه چیا تهیه شده با موسیلاژ دانه چیا شکل کروی، قطر ذرات کوچک، توزیع منظم و عدم تجمع داشتند.

مقادیر پتانسیل زتای بالای ۳۰ میلی‌ولت بودند، بنابراین پایداری خوبی از خود نشان دادند. تحقیقات نشان داده است که صمغ‌ها حاوی گروه‌های کربوکسیلیک اسید هستند و حضور این گروه‌ها دلیل منفی بودن بار سطحی و پتانسیل زتای آن‌ها می‌باشد [۱۴]. فیرتین و همکاران مقادیر پتانسیل زتای کپسول‌های روغن دانه چیا تهیه شده با مالتودکسترین و صمغ عربی را در محدوده ۳۲/۲- تا ۴۰/۶- میلی‌ولت گزارش کردند که در محدوده مقادیر به دست آمده توسط پژوهش حاضر بود [۳۶].

### ۳-۴- مورفولوژی و پراکندگی اندازه ذرات

مورفولوژی نانوکپسول‌های L0.5BSG1 توسط میکروسکوپ الکترونی انتقالی مورد مطالعه قرار گرفته و تصاویر آن در شکل ۱۱ آورده شده است. این نانوکپسول‌ها به طور کلی دارای شکل کروی و نامنظم بودند و ظاهری غیریکنواخت داشتند. حفره‌هایی عمیق روی سطوح نانوکپسول‌های تولید شده مشاهده شد که احتمالاً به دلیل تقویت پیوندهای هیدروژنی و وجود گروه‌های آبدوست است. با این حال، یکی از مهم‌ترین دلایل ظاهر و شکل

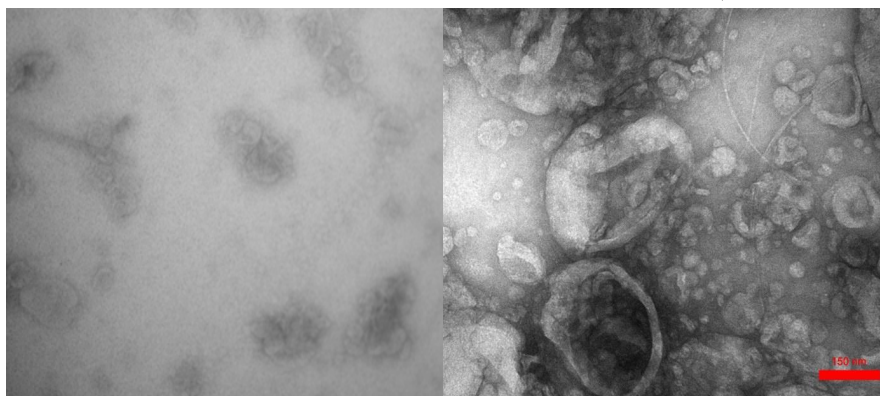


Fig1 The TEM images of the L0.5BSG1 Nano-capsules

است [۴۳]. طیف صمغ دانه ریحان نیز نشان داد که سیگنال‌های موجود در نواحی  $3300-3200\text{ cm}^{-1}$  و  $2925\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به ارتعاشات کششی باند O-H و باندهای کششی C-H گروه‌های متیل می‌باشد. باند ناحیه  $1791\text{ cm}^{-1}$  نشان‌دهنده گروه‌های عملگرای کربونیل استر تری‌گلیسریدها است. سیگنال‌های نواحی  $1629-1601\text{ cm}^{-1}$ ،  $1513-1450\text{ cm}^{-1}$  و  $1362-1336\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به باند کششی COO کربوکسیلات، باند کششی C-N و باندهای کششی C-O می‌باشد. باندهای نواحی  $1279-1110\text{ cm}^{-1}$  و  $1076\text{ cm}^{-1}$  نیز

### ۳-۵- طیف‌سنجی FTIR

طیف FTIR عصاره دانه چیا، صمغ دانه ریحان و نانوکپسول L0.5BSG1 در شکل ۲ نشان داده شده است. طیف عصاره دانه چیا نشان داد که پیک‌های در نواحی  $3285\text{ cm}^{-1}$  و  $2924\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاشات کششی باند O-H هستند [۴۲]. باندهای نواحی  $1727\text{ cm}^{-1}$  و  $1594-1400\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب در ارتباط با ارتعاشات کششی  $\text{C}=\text{O}$  [۱۴] و گروه‌های آروماتیک و کربونیل (گروه‌های مربوط به ترکیبات فنولی) می‌باشند. باند  $1264-1134\text{ cm}^{-1}$  نشان‌دهنده ارتعاشات کششی گروه استری C-O

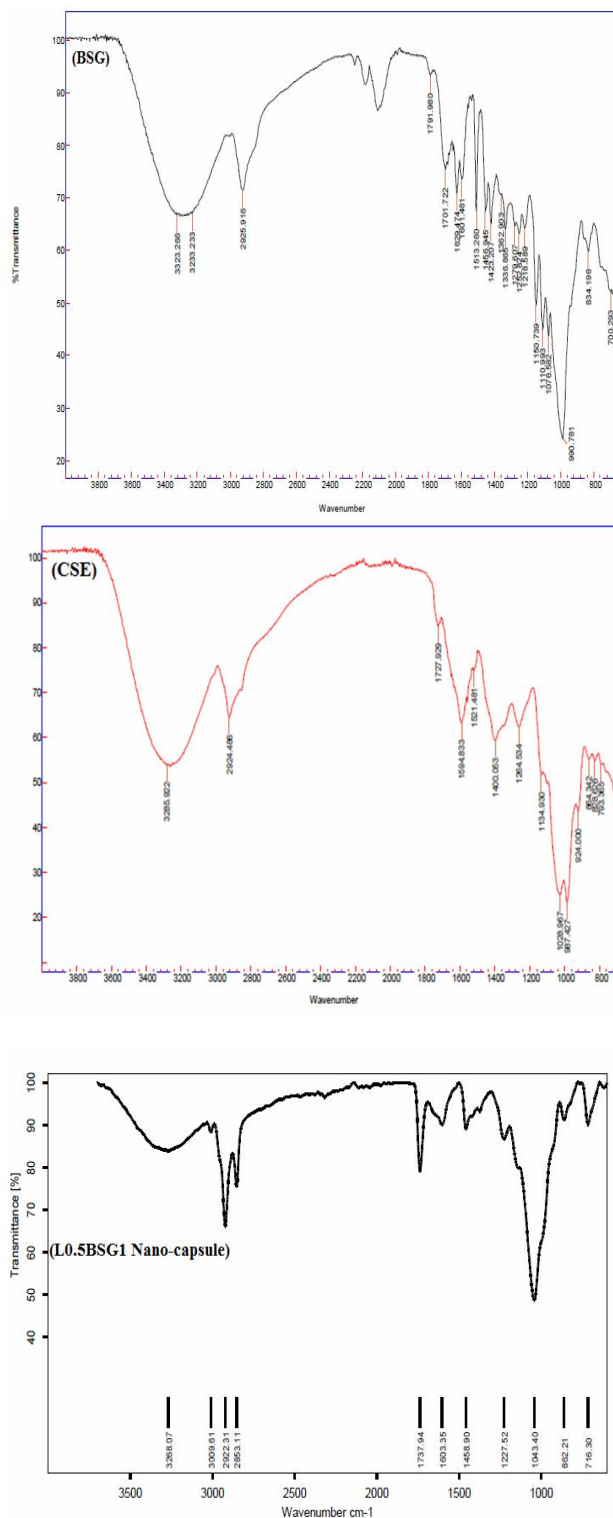


باند‌های مربوط به طیف FTIR صمغ دانه ریحان و عصاره دانه چیا نیز در طیف FTIR نانوکپسول حضور داشتند. هیچ پیک جدیدی در طیف نانوکپسول نسبت به طیف‌های عصاره و صمغ مشاهده نشد و تنها جابجایی جزئی در برخی از نواحی پیک‌ها صورت گرفت. بنابراین، این نتایج نشان داد که برهمکنش اجزای کپسول فیزیکی بوده و برهمکنش شیمیایی صورت نگرفت. به طور مشابه، آکسیسک و همکاران [۴۳] طیف FTIR کپسول‌های حاوی عصاره زیتون پوشش‌دهی شده با صمغ راکت و صمغ چیا را بررسی کرده و دریافتند که در پیک کپسول‌های تولیدی در مقایسه با طیف‌های صمغ و عصاره، تنها جابجایی پیک صورت گرفت و پیوند شیمیایی جدیدی مشاهده نشد.

### ۳-۶- رهایش عصاره دانه چیا از نانوکپسول‌ها

رهایش عصاره دانه چیا از نانوکپسول‌های L0.5BSG1 تحت شرایط شبیه‌سازی شده معده و روده (به ترتیب pH های ۱/۲ و ۷/۴) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده در شکل ۳ نشان داده شده است. در هر دو شرایط شبیه‌سازی شده معده و روده، رهایش عصاره دانه چیا از نانوکپسول‌ها بسیار سریع‌تر از عصاره ریزپوشانی شده صورت گرفت، به طوری که سرعت رهایش آن در عرض ۸ ساعت به ۱۰۰ درصد رسید. کاهش سرعت رهایش عصاره دانه چیا از نانوکپسول‌های پوشش داده شده با صمغ دانه ریحان احتمالاً به دلیل یونیزه شدن گروه‌های کربنی موجود در ساختار صمغ در pH معده و افزایش پایداری کپسول می‌باشد. از طرفی، در pH روده به دلیل تولید مقادیر بالاتر آنیون کربوکسیلیک، نیروهای دافعه بین گروه‌های کربوکسیل زنجیره‌های صمغ دانه ریحان افزایش می‌یابد و به دلیل ضعیف شدن ساختار کپسول، مقادیر بالاتری از عصاره می‌تواند از نانوکپسول‌ها رها شود [۴۵]. به طور کلی، سرعت رهایش عصاره دانه چیا در محیط شبیه‌سازی شده معده کندتر از روده بود. به طوری که میزان رهایش عصاره از نانوکپسول‌های L0.5BSG1 در pH = ۱/۲ در ۸ ساعت ۵۵/۳ درصد بود، در حالی که در pH = ۷/۴ میزان آن به ۸۴/۶ درصد افزایش یافت. به طور کلی رهایش ترکیبات ریزپوشانی شده به عوامل مختلفی بستگی دارد: (۱) خواص مواد دیوار نظیر یکپارچگی و ضخامت، (۲) انتشار هسته زیست‌فعال از طریق مواد دیوار، (۳) نوع ذرات و هندسه

به ترتیب بیانگر باندهای خمشی CH<sub>2</sub>، باندهای کششی C=C و باند گلیکوزیدی C-O-C هستند [۴۴].



**Fig 2** The FTIR spectrums of the chia seed extract (CSE), basil seed gum (BSG) and L0.5BSG1 nano-capsules



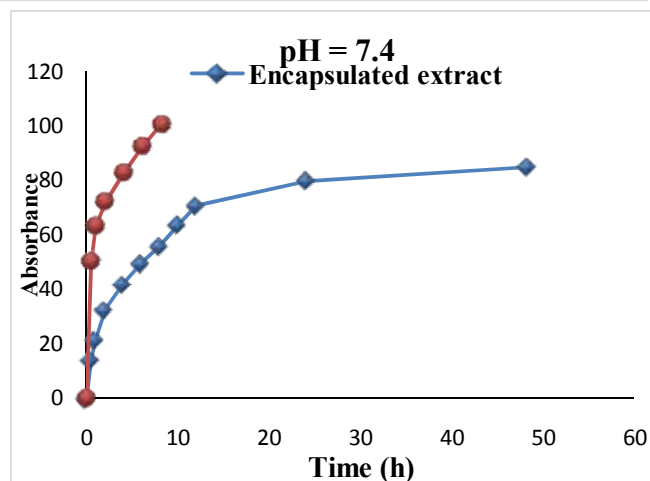
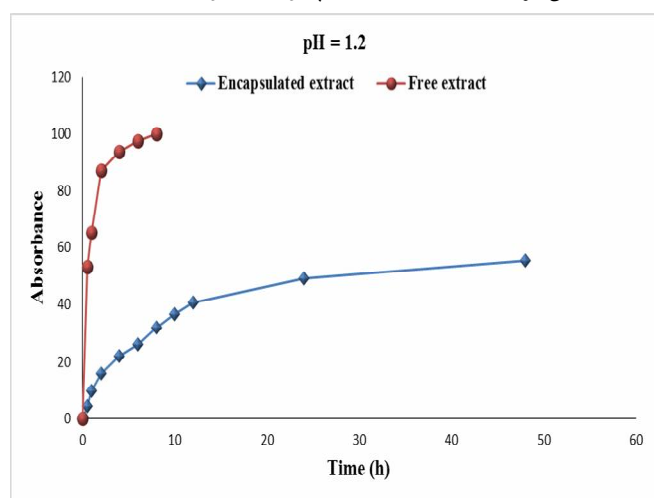
#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش نانولیپوزوم‌ها و نانوکپسول‌های عصاره دانه چیا با غلظت‌های مختلف عصاره و صمغ دانه ریحان با موفقیت تولید شدند و برخی از ویژگی‌ها (اندازه قطر ذرات، شاخص پراکندگی، کارایی ریزپوشانی و پتانسیل زتا) در نانوکپسول‌های تولید شده بررسی شد. نتایج نشان داد خواص فیزیکوشیمیایی ریزکپسول‌ها تحت تاثیر غلظت مواد هسته و دیواره قرار دارد. نانوکپسول‌ها با غلظت ۰,۵٪ عصاره و ۱٪ صمغ دانه ریحان میانگین قطر متوسط ذرات کمتری نسبت به سایر نانوذرات تولیدی در این تحقیق نشان دادند و توزیع اندازه ذرات و پتانسیل زتا و راندمان ریزپوشانی مطلوبی نیز داشتند و به عنوان نانوکپسول بهینه در نظر گرفته شدند. تاثیر فرایند ریزپوشانی بر میزان رهائش این نانوکپسول‌های بهینه طی ۴۸ ساعت در محیط شبیه سازی شده معده و روده، طیف سنجی FTIR و مورفولوژی ذرات مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد این نانوکپسول دارای پایداری خوب و رهائش کنترل شده در شرایط گوارشی بودند. بر اساس تصاویر TEM این نانوکپسول‌ها شکل کروی و نامنظم داشته و تمایل کمی به تجمع نشان دادند و همچنین نتایج طیف‌سنجی فرسرخ نیز نشان‌دهنده برهمکنش فیزیکی بین اجزای نانوکپسول بود و وجود ترکیبات فنلی در نانوکپسول‌ها را تایید کرد. بنابراین استفاده از عصاره دانه چیا ریزپوشانی شده با توجه به رهائش کنترل شده و تدریجی آن در شرایط گوارشی باعث می‌شود، ترکیبات زیست فعال و مواد غذایی با ارزش دارویی آن محافظت شوند.

#### ۵- منابع

- [1] Kuznetcova, D. V., Linder, M., Jeandel, C., Paris, C., Desor, F., Baranenko, D. A., . . . Yen, F. T. (2020). Nanoliposomes and nanoemulsions based on chia seed lipids: Preparation and characterization. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(23), 9079
- [2] Hawaldar, A. S., & Ballal, S. (2021). Review on Antioxidant and Hemagglutination Properties of Chia and Basil Seeds. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 44-52

آن‌ها، (۴) انحلال یا تخریب مواد ماتریکس کپسول [۵]. در پژوهش انجام گرفته در زمینه ریزپوشانی کردن روغن دانه چیا با مالتودکسترین و صمغ عربی نیز به طور موافق با نتایج پژوهش حاضر مشاهده شد که رهائش روغن چیا در شرایط معده به کندی انجام گرفت [۳۲] با این حال، رهائش روغن دانه چیا از کپسول‌های تهیه شده با کمپلکس پروتئین-صمغ در شرایط معده بالاتر بود، که به تجزیه آنزیمی پروتئین در طول هضم نسبت داده شد [۴۶]. روشن‌پور و همکاران [۴۷] اظهار داشتند که نوع مواد مورد استفاده برای پوشش کپسول‌ها تاثیر قابل توجهی بر سرعت رهائش ترکیبات زیست‌فعال از کپسول‌های تولیدی دارد.



**Fig 3** The release of the chia seed extract from the L0.5BSG1 nano-capsules in the gastric simulated conditions (pH=1.2) and the intestinal simulated conditions (pH=7.4)

- seed: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, 101(3), 236-243
- [12] Maqsood, H., Uroos, M., Muazzam, R., Naz, S., & Muhammad, N. (2020). Extraction of basil seed mucilage using ionic liquid and preparation of AuNps/mucilage nanocomposite for catalytic degradation of dye. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 1847-1857
- [13] Kurd, F., Fathi, M., & Shekarchizadeh, H. (2019). Nanoencapsulation of hesperetin using basil seed mucilage nanofibers: Characterization and release modeling. *Food Bioscience*, 32, 100475.
- [14] de Campo, C., dos Santos, P. P., Costa, T. M. H., Paese, K., Guterres, S. S., Rios, A. d. O., & Flôres, S. H. (2017). Nanoencapsulation of chia seed oil with chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) as wall material: Characterization and stability evaluation. *Food Chemistry*, 234, 1-9.
- [15] Rodea-González, D. A., Cruz-Olivares, J., Román-Guerrero, A., Rodríguez-Huezo, M. E., Vernon-Carter, E. J., & Pérez-Alonso, C. (2012). Spray-dried encapsulation of chia essential oil (*Salvia hispanica* L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 102-109.
- [16] Kwon, H. C., Bae, H., Seo, H. G., & Han, S. G. (2019). Short communication: Chia seed extract enhances physiochemical and antioxidant properties of yogurt. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 4870-4876.
- [17] Pinilla, C. M. B., & Brandelli, A. (2016). Antimicrobial activity of nanoliposomes co-encapsulating nisin and garlic extract against Gram-positive and Gram-negative bacteria in milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 36, 287-293.
- [18] Shahavi, M. H., Hosseini, M., Jahanshahi, M., & Darzi, G. N. (2015). Optimization of encapsulated clove oil particle size with biodegradable shell using design expert methodology. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 12(2), 149-160.
- [19] Robert, P., Gorena, T., Romero, N., Sepulveda, E., Chavez, J., & Saenz, C. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. *International*
- [3] Knez Hrnčič, M., Ivanovski, M., Cör, D., & Knez, Ž. (2020). Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.): an overview—phytochemical profile, isolation methods, and application. *Molecules*, 25(1), 11.
- [4] Shaygannia, S., Eshaghi, M. R., Fazel, M., & Hashemiravan, M. (2021a). The Effect of Microencapsulation of Phenolic Compounds from Lemon Waste by Persian and Basil Seed Gums on the Chemical and Microbiological Properties of Mayonnaise. *Preventive Nutrition and Food Science*, 26(1), 82.
- [5] Timilsena, Y. P., Haque, M. A., & Adhikari, B. (2020). Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments. *Food and Nutrition Sciences*, 11(06), 481.
- [6] Estakhr, P., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F., Alaei, S., & Mousavi Khaneghah, A. (2020). Incorporation of the nanoencapsulated polyphenolic extract of *Ferula persica* into soybean oil: Assessment of oil oxidative stability. *Food science & nutrition*, 8(6), 2817-2826
- [7] Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. (2018). Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 34-60
- [8] Labuschagne, P. (2018). Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. *Food Research International*, 107, 227-247.
- [9] Ozkan, G., Kostka, T., Esatbeyoglu, T., & Capanoglu, E. (2020). Effects of Lipid-Based Encapsulation on the Bioaccessibility and Bioavailability of Phenolic Compounds. *Molecules*, 25(23), 5545.
- [10] Isailović, B. D., Kostić, I. T., Zvonar, A., Đorđević, V. B., Gašperlin, M., Nedović, V. A., & Bugarski, B. M. (2013). Resveratrol loaded liposomes produced by different techniques. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 181-189
- [11] Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., Goh, K. K. T., Razavi, S. M. A., & Mortazavi, S. A. (2010). Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L.

- Bioaccessibility by Using Basil Seed Gum/PVA Nanofibers. *Research and Innovation in Food Science and Technology*.
- [29] Razavizadeh, B. M., Kadkhodae, R., & Zaferani, Z. (2015). Extraction and encapsulation of capsaicinoids of red pepper oleoresin.
- [30] Nakayama, T., Hashimoto, T., Kajiya, K. and Kumazawa, S. 2000. Affinity of polyphenols for lipid bilayers. *Biofactors*, 13(1-4): 147-151
- [31] Morales-Olán, G., Luna-Suárez, S., Figueroa-Cárdenas, J. D. D., Corea, M., & Rojas-López, M. (2021). Synthesis and Characterization of Chitosan Particles Loaded with Antioxidants Extracted from Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2021
- [32] Firtın, B., Yenipazar, H., Saygün, A., & Şahin-Yeşilçubuk, N. (2020). Encapsulation of chia seed oil with curcumin and investigation of release behaviour & antioxidant properties of microcapsules during in vitro digestion studies. *LWT*, 134, 109947
- [33] Delfanian, M., Razavi, S. M. A., Haddad Khodaparast, M. H., Esmailzadeh Kenari, R., & Golmohammadzadeh, S. (2018). Influence of main emulsion components on the physicochemical and functional properties of W/O/W nano-emulsion: Effect of polyphenols, Hi-Cap, basil seed gum, soy and whey protein isolates. *Food Research International*, 108, 136-143
- [34] Sharma, A., & Sharma, U.S. (1997). Liposomes in drug delivery: progress and limitations. *International Journal of Pharmacology*, 154(2): 123-40.
- [35] Muhammad, D. R. A., Doost, A. S., Gupta, V., bin Sintang, M. D., Van de Walle, D., Van der Meeren, P., & Dewettinck, K. (2020). Stability and functionality of xanthan gum-shellac nanoparticles for the encapsulation of cinnamon bark extract. *Food Hydrocolloids*, 100, 105377
- [36] Firtın, B., Yenipazar, H., Saygün, A., & Şahin-Yeşilçubuk, N. (2020). Encapsulation of chia seed oil with curcumin and investigation of release behaviour & antioxidant properties of microcapsules during in vitro digestion studies. *LWT*, 134, 109947
- Journal of Food Science & Technology*, 45(7), 1386-1394
- [20] Sotelo-Boyás, M., Correa-Pacheco, Z., Bautista-Baños, S., & Gómez y Gómez, Y. (2017). Release study and inhibitory activity of thyme essential oil-loaded chitosan nanoparticles and nanocapsules against foodborne bacteria. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 409-414.
- [21] Dai, L., et al., Fabrication of zein and rhamnolipid complex nanoparticles to enhance the stability and in vitro release of curcumin. *Food Hydrocolloids*, 2018. 77: p. 617-628.
- [22] Rahaiee, S., Hashemi, M., Shojaosadati, S. A., Moini, S., & Razavi, S. H. (2017). Nanoparticles based on crocin loaded chitosan-alginate biopolymers: Antioxidant activities, bioavailability and anticancer properties. *International journal of biological macromolecules*, 99, 401-408.
- [23] Fathi, M., Mozafari, M. R., & Mohebbi, M. (2012). Nanoencapsulation of food ingredients using lipid based delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*, 23(1), 13-27
- [24] Tamjidi, F., Shahedi, M., Varshosaz, J., & Nasirpour, A. (2013). Nanostructured lipid carriers (NLC): A potential delivery system for bioactive food molecules. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 29-
- [25] Zou, L. Q., Liu, W., Liu, W. L., Liang, R. H., Li, T., Liu, C. M., ... & Liu, Z. (2014). Characterization and bioavailability of tea polyphenol nanoliposome prepared by combining an ethanol injection method with dynamic high-pressure microfluidization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(4), 934-941.
- [26] Naghavi, S., Azadmard-Damirchi, S., Peighambari, S. H., & Sowti Khiabani, M. (2018). Evaluating the properties of nanoliposomes containing green tea extract produced by ethanol injection method. *JFST No. 73, Vol.*
- [27] Rashidaie Abandansarie, S. S., Ariaei, P., & Charmchian Langerodi, M. (2019). Effects of encapsulated rosemary extract on oxidative and microbiological stability of beef meat during refrigerated storage. *Food science & nutrition*, 7(12), 3969-3978
- [28] Komijani, M., Mohebbi, M., & Ghorani, B. (2020). Enhancement of Lycopene

- González-Valdez, L. S., Muñoz-Hernández, G., . . . Rojas-López, M. (2018). Rapid Determination of Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Properties of *Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem. and *Physalis angulata* L. by Infrared Spectroscopy and Partial Least Squares. *Analytical Letters*, 51(4), 523-536.
- [43] Akcicek, A., Bozkurt, F., Akgül, C., & Karasu, S. (2021). Encapsulation of Olive Pomace Extract in Rocket Seed Gum and Chia Seed Gum Nanoparticles: Characterization, Antioxidant Activity and Oxidative Stability. *Foods*, 10(8), 1735.
- [44] Kurd, F., Fathi, M., & Shekarchizadeh, H. (2019). Nanoencapsulation of hesperetin using basil seed mucilage nanofibers: Characterization and release modeling. *Food Bioscience*, 32, 100475.
- [45] Fahami, A., & Fathi, M. (2018). Development of cress seed mucilage/PVA nanofibers as a novel carrier for vitamin A delivery. *Food Hydrocolloids*, 81, 31-38.
- [46] Timilsena, Y. P., Adhikari, R., Barrow, C. J., & Adhikari, B. (2017). Digestion behaviour of chia seed oil encapsulated in chia seed protein-gum complex coacervates. *Food Hydrocolloids*, 66, 71-81.
- [47] Roshanpour, S., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F., & Alaei, S. (2021). Improving antioxidant effect of phenolic extract of *Mentha piperita* using nanoencapsulation process. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(1), 23-32.
- [37] Pasrija, D., Ezhilarasi, P. N., Indrani, D., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 289-296. [38] Pereira Souza, A. C., Deyse Gurak, P., & Damasceno Ferreira Marczak, L. (2017). Maltodextrin, pectin and soy protein isolate as carrier agents in the encapsulation of anthocyanins-rich extract from jaboticaba pomace. *Food and Bioprocess Processing*, 102, 186-194
- [39] Gahruie, H. H., Niakousari, M., Parastouei, K., Mokhtarian, M., Eş, I., & Mousavi Khaneghah, A. (2020). Co-encapsulation of vitamin D3 and saffron petals' bioactive compounds in nanoemulsions: Effects of emulsifier and homogenizer types. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(8), e14629. doi:
- [40] Kuznetcova, D. V., Linder, M., Jeandel, C., Paris, C., Desor, F., Baranenko, D. A., . . . Yen, F. T. (2020). Nanoliposomes and nanoemulsions based on chia seed lipids: Preparation and characterization. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(23), 9079.
- [41] de Campo, C., dos Santos, P. P., Costa, T. M. H., Paese, K., Guterres, S. S., Rios, A. d. O., & Flôres, S. H. (2017). Nanoencapsulation of chia seed oil with chia mucilage (*Salvia hispanica L.*) as wall material: Characterization and stability evaluation. *Food Chemistry*, 234, 1-9.
- [42] Cobaleda-Velasco, M., Almaraz-Abarca, N., Alanis-Bañuelos, R. E., Uribe-Soto, J. N.,



## Scientific Research

## Encapsulation of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds extract with nano-liposomes and basil seed gum and investigation of physicochemical characteristics and its release in simulated gastrointestinal conditions

Hosseini, F. <sup>1</sup>, Motamedzadegan, A. <sup>2\*</sup>, Naghizadeh, Sh. <sup>3</sup>, Rahaiee, S. <sup>4</sup>

1. PHD Candidate Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
2. PhD in Food Science and Technology Engineering, Professor Department Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3. PhD in Food Science and Technology-Food Microbiology, Assistant Professor of Food Science and Technology, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.
4. PhD in Food Biotechnology, Assistant Professor Department of Microbial Biotechnology, Faculty of Biotechnology, Amol University of Special Modern Technologies, Amol, Iran.

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

## Article History:

Received 2022/ 04/ 11  
Accepted 2022/ 06/ 11

## Keywords:

Encapsulation,  
Chia seed extract,  
Nano-liposome,  
Basil seed gum,  
Release.

DOI: 10.22034/FSCT.19.127.291  
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.127.23.6

\*Corresponding Author E-Mail:  
amotgan@mstp.ir

Encapsulation of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds extract with nano-liposomes and basil seed gum and investigation of physicochemical characteristics and its release in simulated gastrointestinal conditions. Chia seeds are considered as a rich source of bioactive and functional compounds. Due to the fact that bioactive compounds are unstable against environmental factors, the stability of these compounds is important. Encapsulation is a useful way to increase the stability of these compounds. In this study, nano-capsules of chia seed extract (CSE) with nano liposomes and basil seed gum (BSG) were produced and its physicochemical properties and release were investigated. Nano-liposomes were first prepared using lecithin and different concentrations of CSE and then coated with three levels of BSG. The physicochemical properties and the CSE release from nano-capsules were examined. The lowest mean particle size (59.23 nm), low PDI index (0.328) and high encapsulation efficiency (80.06%) were observed in the Nano-capsules containing 0.5% CSE coated with 1.0% BSG (L0.5BSG1). Since the zeta potential of nano-capsules produced in this study was higher than  $\pm 30$  mV, so they had high stability. Based on the TEM images the L0.5BSG1 nano-capsules had spherical and irregular shape and low tendency to accumulate. The FTIR analyses showed physical interaction between nano-capsule components and also confirmed the presence of phenolic compounds in the nano-capsules. In terms of release rate in the gastric and intestinal simulated conditions, the CSE-loaded nano-capsules had a controlled release relative to free CSE. Finally, the results of this study demonstrated that L0.5BSG1 nano-capsules could possibly be used successfully in the pharmaceutical and food industries.