

میکروانکپسولاسیون نانوامولسیون اسانس دارچین پایدار شده توسط بتا سیکلودکسترین و کازئینات سدیم

عارف عرفانی^۱، میرخلیل پیروزی فرد^{۲*}، هادی الماسی^۳، نسا غیبی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۴- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۲)

چکیده

امروزه اسانس دارچین به دلیل دارا بودن فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی جهت افزودن به سامانه‌های غذایی و زیستی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. استفاده از این اسانس به صورت آزاد برای نگهداری مواد غذایی عموماً به دلیل محلولیت پایین در آب، فشار بخار بالا و ناپایداری فیزیکی و شیمیایی با دشواری‌هایی همراه است. یکی از روش‌های کاهش این محدودیت‌ها، ریزپوشانی اسانس‌ها در حامل‌های لیپیدی از جمله میکروکپسول‌ها است. هدف از این پژوهش درون‌پوشانی اسانس دارچین در میکروکپسول‌های پایدار شده با کازئینات سدیم (Nacs) و بتا سیکلودکسترین (β -cy) و بررسی خواص آنتی‌اکسیدانی آن می‌باشد. در این مطالعه، به منظور ریزپوشانی فرمولاسیون‌های مختلف، نانوامولسیون حاوی اسانس دارچین به روش اولتراسوند تولید و تأثیر پلیمرهای مختلف بر روی اندازه ذرات، کارایی درون‌پوشانی، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و کدورت نانوامولسیون بررسی گردید. بررسی آماری نتایج نشان داد که برهمکنش نانوامولسیون‌ها و نمونه‌های انکپسوله شده بر روی اندازه ذرات مؤثر بود ($p < 0/05$). اندازه ذرات کازئینات سدیم با بتا سیکلودکسترین (S1) در محدوده ۲۳۷-۲۳۴ نانومتر متفاوت بود. همچنین اندازه ذرات بتا سیکلودکسترین (S2) در محدوده ۷۱۷-۷۱۳ نانومتر و اندازه ذرات اسانس (S3) در محدوده ۸۵-۸۴ نانومتر بود. پتانسیل زتا برای نمونه کازئینات سدیم با بتا سیکلودکسترین و نمونه اسانس آزاد منفی بود و سیستم از بار منفی قابل توجهی برخوردار است. اثر پلیمرهای مختلف و اسانس بر روی کارایی انکپسولاسیون و خاصیت آنتی‌اکسیدانی تفاوت معنی‌داری داشت ($p < 0/05$). کارایی درون‌پوشانی همه فرمولاسیون‌ها بالای ۷۰ درصد بودند. بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی میکروکپسول‌های بهینه‌سازی شده به وسیله SEM، شکل‌های همگن و کروی دارای منافذ را نشان داد. آنالیز FT-IR تأثیر نیروهای واندروالی را در شکل‌گیری میکروکپسول‌ها به طور مشخص تأیید کرد.

کلید واژگان: نانوامولسیون، اسانس دارچین، درون‌پوشانی، بتا سیکلودکسترین.

* مسئول مکاتبات: K.pirouzifard@yahoo.com

۱ - مقدمه

نانو امولسیون‌ها، امولسیون‌های ریز شده یا زیر میکرون هستند که اندازه ذرات آن‌ها بین ۲۰ تا ۲۰۰ نانومتر است. این سامانه‌ها دارای پایداری سینتیکی بالایی هستند [۱]. روش‌های مختلفی جهت تولید نانو امولسیون‌ها ارائه شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های پراترژ (هموژنایزر، امواج اولتراسوند) و روش‌های کم انرژی (خود به خودی و تغییر فاز) اشاره کرد [۲]. میکرو انکپسولاسیون یک فناوری نسبتاً نوین است که با سرعت بالایی در حال توسعه می‌باشد. این فناوری یک روش منحصربه‌فرد می‌باشد و جایگاه خوبی در صنایع مختلف از جمله: صنایع غذایی، داروسازی و شیمیایی کسب نموده است [۳]. میکرو انکپسولاسیون فرآیندی است که در آن ترکیبات فعال غذایی مانند روغن‌ها و طعم‌دهنده‌ها به وسیله یک ماده ثانویه احاطه شده و یک ماکروکپسول را تشکیل می‌دهند. ترکیب احاطه شده را تحت عنوان ماده هسته‌ای، ترکیب فعال، فاز داخلی و ترکیب ثانویه می‌نامند، ماده‌ای که دیواره را در بر می‌گیرد تحت عنوان ماتریس دیواره، فاز خارجی، غشاء یا پوسته شناخته می‌شود. مواد حامل مورد استفاده در کپسوله کردن برای محصولات و یا فرآیندهای غذایی باید در رده مواد غذایی بوده و قادر به تشکیل یک دیواره اطراف عوامل فعال باشند [۴]. در این تکنیک اجزای مواد غذایی نظیر آنزیم‌ها، مواد معدنی، ویتامین‌ها، اسانس‌ها، روغن‌ها و میکروارگانیزم‌ها می‌توانند توسط ترکیبات بیوپلیمری نظیر کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و چربی‌ها پوشش داده شوند [۵ و ۶]. کازئین مهم‌ترین پروتئین شیر نشخوارکنندگان است. این پروتئین، در شیر میسل‌هایی تشکیل می‌دهد که به‌عنوان نانوحامل طبیعی عمل می‌کنند. کازئینات سدیم از مشتقات کازئین است که به‌طور صنعتی تهیه می‌شود و کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی دارد. کازئین و کازئینات می‌توانند با برهمکنش‌های مختلف شامل الکتروستاتیک، هیدروژنی و آب‌گریز، به پلی‌ساکاریدها متصل شوند، همچنین به مواد زیستفعال آب‌گریز مانند ویتامین‌های محلول در چربی از طریق برهمکنش‌های آب‌گریز متصل شوند و آن‌ها را محافظت کنند [۷]. تاکنون در مطالعات مختلف از غلظت‌های متفاوتی از کازئینات سدیم استفاده شده است. در نسبت‌های کمتر کازئینات به روغن، مقدار کافی از پروتئین

برای پوشاندن سطح مشترک روغن - آب وجود ندارد و به همین علت معمولاً باعث ناپایداری امولسیون‌ها به صورت تشکیل شبکه از طریق ایجاد پل عرضی یا تشکیل خوشه می‌شود. بالعکس، در نسبت‌های بیشتر کازئینات به روغن، حضور پروتئین‌های اضافی (جذب‌شده) سبب بروز پدیده فلوکوله شدن نقصانی و احتمالاً درهم آمیختگی قطرات می‌شود که نتیجه آن افزایش اندازه ذرات امولسیون می‌باشد [۸ و ۹]. سیکلودکسترین‌ها با ابعاد و حفرات نانو مجموعه‌ای از الیگوساکاریدها هستند که توسط اصلاح آنزیمی انواع نشاسته (سیب‌زمینی، ذرت، برنج و سایر منابع) در مقیاس صنعتی و با خلوص بالا تولید می‌شوند. سیکلودکسترین‌ها الیگوساکاریدهای حلقوی شامل واحدهای گلوکزی با پیوندهای α - و β - گلوکوپیرانوزی هستند. به‌طور کلی، تعداد گلوکزها در ساختار سیکلودکسترین‌ها بین ۳ تا ۱۶ عدد است. سه نوع اصلی سیکلودکسترین که بیشترین کاربرد برای آن‌ها گزارش شده است، عبارت‌اند از: α -سیکلودکسترین دارای ۶ واحد گلوکز (سیکلوهاگزا آمیلوز یا سیکلوماتوهگزاوز)، β -سیکلودکسترین دارای ۷ واحد گلوکز (سیکلوهاپتا آمیلوز و سیکلوماتوهپتاوز)، γ -سیکلودکسترین دارای ۸ واحد گلوکز (سیکلوآکتا آمیلوز، سیکلوماتوآکتاوز) است [۱۰]. از جمله سیکلودکسترین‌ها، بتا سیکلودکسترین می‌باشد که دارای حلالیت کمتری در آب است، بطوریکه حلالیت آن در $\text{pH}=12/5$ برابر با 750 g/L است [۱۱]. حلالیت β -سیکلودکسترین از حلالیت α - و γ - سیکلودکسترین در آب کمتر است. حلالیت سیکلودکسترین‌ها وابستگی زیادی به دما دارد، به‌طوری‌که حلالیت سه سیکلودکسترین اصلی در دمای 25°C درجه سانتی‌گراد حدود شش برابر حلالیت آن‌ها در دمای 25°C است. حلالیت سیکلودکسترین‌ها در pH بالا، به دلیل یونیزه شدن گروه‌های هیدروکسیل در آب، افزایش می‌یابد [۱۲]. بتا سیکلودکسترین با توجه به قیمت پایین و سازگاری بهتر با بدن انسان و واکنش‌های ساده‌تر نسبت به انواع دیگر از سیکلودکسترین‌ها بیشتر مورد توجه است. از مهم‌ترین کاربردهای بتا سیکلودکسترین در داروسازی، صنایع غذایی، مدل‌های آنزیمی و کاتالیز استین انوانکپسولاسیون ترکیبات غذا-دارو است که باعث پایدار سازی مواد حساس به نور یا اکسیژن، بهبود فعالیت شیمیایی هسته، ثبات بخشیدن به مواد خیلی فرار، بهبود حلالیت

اسانس به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از آماده‌سازی ۳۰۰ گرم دارچین آسیاب شده همراه با سه لیتر آب، توسط دستگاه کلونجر و به روش تقطیر با آب به مدت چهار ساعت اسانس گیری صورت گرفت. آب‌گیری از اسانس به وسیله افزودن اندکی سدیم سولفات انجام گردید.

۲-۳- آنکپسولاسیون اسانس دارچین

محلول‌های هیدراته کازئینات سدیم و بتا سیکلودکسترین در غلظت ۴ درصد از اختلاط با آب مقطر به وسیله همزن مغناطیسی آماده شدند. سوسپانسیونهای مواد دیواره روز قبل از آنکپسولاسیون به منظور اطمینان یافتن از اشباع مولکول‌های بیوپلیمری در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. سپس مقادیر مورد نیاز اسانس دارچین در داخل هر سوسپانسیون بیوپلیمری به مقدار ثابت ۰/۵ گرم با سرعت ۵۰۰۰rpm به مدت ۵ دقیقه برای تشکیل امولسیون‌هایی با نسبت‌های مورد نیاز هسته به دیواره توسط همزن با سرعت بالا IKA T25 digital (Ultra-Turrax, Selangor, Malaysia) اضافه شد.

سرانجام هموژنایزر اولتراسونیک (UP200Ht, Hielscher, Germany) مجهز به پروپیتانیم با ضخامت ۱۴ میلی متر برای آنکپسولاسیون مورد استفاده قرار گرفت. فرآیند آنکپسولاسیون با اعمال توان ۱۵۰ وات و فرکانس ۲۰ کیلو هرتز اولتراسوند در دمای اتاق به مدت ۵ دقیقه انجام شد [۱۸].

۲-۴- اندازه‌گیری کدورت

کدورت نمونه‌ها با دستگاه توربیدومتر (HACH, 2100AN Turbidometer, Germany) برحسب واحد NTU اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری کدورت بدین صورت است که مقداری از نمونه در شیشه استوانه‌ای شکل دستگاه ریخته و در جایگاه مخصوص خود قرار می‌گیرد و بعد از مدتی کدورت خوانده می‌شود [۱۸].

۲-۵- تعیین اندازه ذرات

تعیین اندازه ذرات توسط دستگاه پراکنندگی نور پویا (مدل Nnophox Sympatec GmbH، ساخت آلمان) در دمای ۲۵ °C انجام شد. نمونه‌ها با آب دیونیزه شده رقیق شدند تا تعداد ذرات محدوده‌ای مشخص (بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ kCPS) داشته باشند [۱۹].

مواد آب‌گریز با حلالیت کم در آب (مانند داروی پیروکسیکام)، محافظت از مواد در برابر میکروارگانیسم‌ها، پوشاندن بو و مزه بد، پوشاندن رنگ مواد می‌شود [۱۳]. دارچین یکی از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی مورد استفاده‌است که متعلق به خانواده Lauracea می‌باشد. گیاه دارچین به‌عنوان یک گیاه دارویی، دارای خصوصیات منحصربه‌فردی از جمله گرم‌کننده، ضد نفخ، ضد عفونت، ضد قارچی، آنتی‌اکسیدانی، ضد ویروسی، تصفیه‌کننده خون و کمک‌کننده به هضم خوراک مطرح می‌باشد. فعالیت ویژه آنتی‌اکسیدانی دارچین را به حضور مواد فنولی و پلی فنولی موجود در آن نسبت می‌دهند [۱۴]. یکی از مهم‌ترین ترکیبات نگه‌دارنده‌ی طبیعی اسانس دارچین سینام آلدئید است که خاصیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی آن توسط محققین زیادی به اثبات رسیده است [۱۵ و ۱۶]. مکانیسم اثر ضد میکروبی سینام آلدئید جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های آمیلاز و پروتئاز و نیز تخریب دیواره سلولی می‌باشد [۱۷]. خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارچین به علت وجود ترکیباتی نظیر اوژنول، کاریوفیلن، سینئول و سینام آلدئید می‌باشد. سینام آلدئید و همچنین اوژنول دارای خواص ضد میکروبی و ضد قارچی نیز می‌باشند [۱۷]. با توجه به اهمیت اسانس‌ها در تولید مواد غذایی با ایمنی بالا و گسترش محصولات جدید با خواص بیولوژیکی بالاتر در صنایع غذایی، هدف از این پژوهش تولید ریز پوشینه‌های حاوی اسانس دارچین با دیواره‌های کازئینات سدیم و بتا سیکلودکسترین با روش سونیکاسیون و بررسی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی آن‌ها می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

کازئینات سدیم با درجه خلوص ۹۹ درصد، بتاسیکلودکسترین با درجه خلوص ۹۷ درصد و ۲ و ۲ دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل از شرکت سیگما آمریکا، توئین ۸۰، اتانول ۹۶ درصد و متانول ۹۹ درصد از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

۲-۲- استخراج اسانس دارچین

به منظور تهیه اسانس دارچین، ابتدا چوب دارچین از مراکز معتبر بخش گیاهان دارویی شهرستان ارومیه تهیه و به منظور استخراج

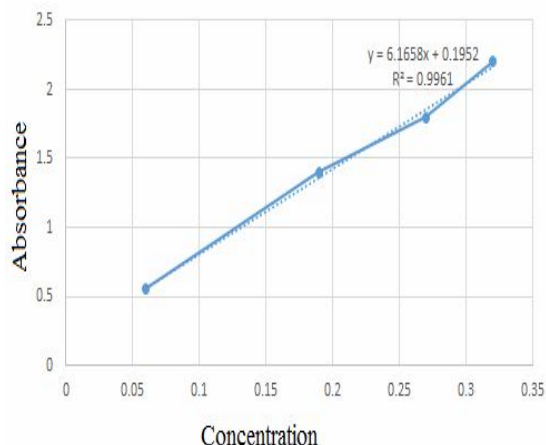


Fig 1 Calibration curve for encapsulation efficiency of cinnamon essential oil.

۶-۲- اندازه‌گیری پتانسیل زتا

برای اندازه‌گیری پتانسیل زتا از دستگاه آنالیز اندازه ذرات (مدل HS, Nanoseeries ۳۰ ساخت شرکت Malvern انگلستان) استفاده شد. پتانسیل زتا در پایداری سامانه‌های ذره‌ای اهمیت دارد. این پتانسیل میزان دامنه بین ذرات مجاور با بار مشابه را تعیین می‌کند. اگر پتانسیل زتا از حد خاصی پایین‌تر باشد نیروهای جاذبه بر دافعه غلبه کرده و ذرات باهم تجمع می‌یابند [۱۹]. لازم به ذکر است اندازه ذرات و پتانسیل زتای نمونه اسانس (EO) پس از آماده سازی امولسیون، توسط دستگاه‌های مذکور به دست آمد. منظور از اسانس امولسیون اسانس دارچین می‌باشد.

۷-۲- تعیین کارایی انکپسولاسیون

مقدار اسانس انکپسوله شده در ریز کپسول‌ها به وسیله روش Sheikhzadeh و همکاران با کمی اصلاحات تخمین زده شد. برای اندازه‌گیری کارایی انکپسولاسیون، ابتدا ۱ میلی لیتر از هر نمونه به منظور جداسازی کپسول‌ها تحت دور ۳۰۰۰ rpm به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ (Shimifan, CE-148) شدند. سپس به منظور حذف کامل ذرات جدا نشده توسط سانتریفیوژ نمونه‌ها با استفاده از فیلتر سر سرنگی ۰/۲۲ میکرومتری صاف شدند. ۴۰ میکرولیتر از هر نمونه برداشته و با استفاده از متانول تا ۲ میلیلیتر رقیق شدند. سپس جذب توسط اسپکتروفتومتر مرئی ماورابینفش (UV-1700 Pharma Spec, SHIMADZU Corporation) در طول موج ۲۷۵ نانومتر خوانده شد. اسانس دارچین در این طول موج دارای ماکزیمم جذب است، غلظت‌های متفاوت اسانس دارچین به منظور رسم منحنی کالیبراسیون استفاده شدند. محتوای اسانس کل با استفاده از معادله خطی محاسبه شد که از منحنی کالیبراسیون شکل (۱) به دست آمده است: [۱۸]. کارایی انکپسولاسیون با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$EE\% = \frac{\text{Total EO} - \text{Free EO}}{\text{Total EO}} \times 100$$

Total EO: کل اسانس مورد استفاده
Free EO: اسانس آزاد
EE: Encapsulation Efficiency کارایی درون پوشانی

۸-۲- تعیین خاصیت آنتی‌اکسیدانی

اثر آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش اندازه‌گیری کاهش ظرفیت رادیکالی به کمک ۲ و ۲-دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل DPPH مورد ارزیابی قرار گرفت. DPPH ترکیبی است بنفش‌رنگ که به دلیل حضور گروه‌های فنیل در ساختار آن به راحتی به صورت رادیکال درآمده و در واقع منبع رادیکال آزاد می‌باشد. این ترکیب با گرفتن یک الکترون از ترکیب آنتی‌اکسیدانی اسانس قبل و بعد از کپسولاسیون ارزیابی شد. ابتدا محلول ۰/۰۸ درصد DPPH با متانول تهیه شد. رقت‌های مختلف میکروکپسول و اسانس هم با متانول تهیه شد و جذب نوری نمونه‌ها پس از ۳۰ دقیقه گرمخانه‌گذاری در دمای اتاق در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر خوانده شد [۲۰].

که در آن Absc مربوط به جذب شاهد و Abss مربوط به جذب نمونه می‌باشد.

۹-۲- آزمون طیف‌سنجی FTIR¹

برای انجام آزمون FTIR از دستگاه (Perkin Elemer, USA) Spectrum Two, FTIR استفاده شد. قرص‌های نازکی از فیلم با ضخامت کمتر از یک میلی‌متر از اختلاط آب و آسیاب نمونه‌های میکروکپسول و پوشش‌دادن با پتاسیم برمید و توسط خشک کن انجمادی خشک به نسبت ۱:۲۰ و اعمال فشار حدود ۶۰ کیلو پاسکال به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه تهیه قرص به دست

1. Fourier Transform Infrared Spectroscopy

منجر به شکسته شدن ذرات به اندازه‌های کوچک‌تر می‌شود. در واقع برش شدید ناشی از افزایش دور هموژنایزر موجب کاهش اندازه قطرات امولسیون می‌گردد. همچنین می‌توان این‌طور توجیه نمود که کاهش اندازه ذرات به علت خواص امولسیون مؤثر کازئینات سدیم و بخش‌های هیدروفوب و هیدروفیل آن مربوط می‌باشد [۱۹]. نتایج این تحقیق با نتایج گاردوه و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد [23]. در نمونه (S2) در مقایسه با نمونه‌های (S1) و (S3) اندازه ذرات بزرگ‌تر می‌باشد. شاید این امر به دلیل خاصیت یونیزه شدن گروه‌های هیدروکسیل در آب و نانو امولسیون بتا سیکلودکسترین و همچنین حلالیت کم آن در آب باشد [۱۲]. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج کانگ پن و همکاران (۲۰۱۳) که بر روی انکپسولاسیون کورکومین با دیواره کازئینات سدیم تحقیق کردند مطابقت دارد [۲۴].

Table 1 Dispersed phase droplet size for nano emulsions with different formulations.

Sample	Particle Size (nm)
NaCS+ β -cy + EO (S ₁)	1.29 ^a \pm 237.15
β -cy + EO (S ₂)	2.30 ^b \pm 717
EO (S ₃)	0.75 ^c \pm 76.83

The presence of different letters indicates a significant difference at the probability level of *95%.

۴-۲- اندازه‌گیری پتانسیل زتا

پتانسیل زتا تابعی از بار سطحی و زیکول‌های لپیدی هر لایه جذب‌شده در لایه بین سطحی و ماهیت ترکیب محیطی که نانو امولسیون در آن به صورت معلق درآمده است، می‌باشد. همچنین پتانسیل زتا شاخصی برای مقدار برهم‌کنش دافعه بین ذرات کلونیدی است و برای ارزیابی پایداری سوسپانسیون‌های زیکولی استفاده می‌شود. عموماً اگر پتانسیل زتای کل سیستم کلونیدی بالاتر از ± 30 میلی ولت باشد ذرات از نظر نیروهای دافعه‌ی الکترواستاتیکی پایدار خواهند بود. نتایج مربوط به پتانسیل زتا برای میکروکپسول‌های حاوی اسانس دارچین در جدول (۲) نشان داده شده است که در نمونه‌های (S1) و (S3) دارای بار منفی بودند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ترکیبات فنولی نه تنها می‌توانند در داخل میکروکپسول قرار بگیرند بلکه می‌توانند

آمد و طیف عبور نمونه‌ها در محدوده عدد موجی 400 cm^{-1} - 4000 cm^{-1} و با قدرت تفکیک $5/0\text{ cm}^{-1}$ مورد آنالیز قرار گرفت [۲۱].

۲-۱۰- میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM²

برای بررسی مورفولوژی سطحی میکروکپسول‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل (Leo 1450 VP) ساخت مشترک کشور آلمان و انگلیس استفاده شد. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پولیشر مدل (SC 7620) با طلا و پلاتین پوشش دهی شدند [۲۲].

۳- روش آماری

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی بر اساس طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه‌تکرار انجام پذیرفت. برای تحلیل داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون مقایسه میانگین‌های دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. نرم‌افزار آماری SPSS ۲۵ در تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- اندازه‌ی ذرات

در این مطالعه جهت تولید نانو امولسیون از فرمولاسیون‌های مختلف با نسبت‌های متفاوت وزنی- وزنی استفاده شد که نتایج حاصله در جدول شماره (۱) نشان داد، اندازه ذرات کازئینات سدیم با بتا سیکلودکسترین در محدوده ۲۳۷-۲۳۴ نانومتر متفاوت بود. همچنین اندازه ذرات بتا سیکلودکسترین در محدوده ۷۱۷-۷۱۳ نانومتر و اندازه ذرات اسانس در محدوده ۸۵-۸۴ نانومتر بود. تأثیر فاکتورها بر روی اندازه ذرات فاز پراکنده معنی‌داری باشد ($p < 0/05$). در نمونه‌های کازئینات سدیم با بتا سیکلودکسترین (S1) و اسانس (S3) تأثیر توان سونیکاسیون و سرعت هموژنایزر سبب کاهش اندازه ذرات می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که افزایش توان التراسوند موجب افزایش انرژی و نیروی وارد شده به سیستم می‌گردد؛ از طرفی قطرات اسانس روغنی رابا فشار و شدت بیشتری از بین قسمت‌های ثابت و متحرک هموژنایزر عبور می‌دهد که خود

2. Scanning Electron Microscope

کازینات سدیم مقدار کارایی افزایش یافت که دلیل آن را می‌توان به خاصیت امولسیفایر کنندگی کازینات سدیم و همچنین خاصیت آمفی‌فیلیکی آن نسبت داد. می‌توان نتیجه گرفت که تأثیر ساختار شیمیایی و طبیعی مواد دیواره بر روی کارایی انکپسولاسیون نسبت به اسانس آزاد کمتر می‌باشد. همچنین این نتایج با نتایج حسین نیا و همکاران (۲۰۱۷) که بر روی میکروانکپسولاسیون اسانس کاکوتی مطالعه کردند و گزارش دادند که مقدار کارایی ریز پوشانی شده با افزودن اسانس به بیوپلیمر افزایش می‌یابد مطابقت دارد [۲۶].

Table 3 Encapsulation efficiency for nano emulsions with different formulations.

Sample	EE (%)
NaCS+ β -cy + EO (S1)	0.15 ^b ±81.37
β -cy + EO (S2)	0.46 ^c ±79.02
EO(S3)	0.28 ^a ±84.70

The presence of different letters indicates a significant difference at the probability level of *95%.

۴-۴-اندازه‌گیری کدورت

با آنالیز واریانس داده‌های به‌دست‌آمده مشخص گردید که فرمولاسیون نانو امولسیون‌ها به طور معنی‌داری بر روی کدورت نانوامولسیون‌ها اثر گذاشته است ($p < 0.05$). در نمونه‌های (S1) و (S3) افزایش کدورت به دلیل اضافه کردن اسانس دارچین که رنگ کریستالی زرد دارد و همچنین ممکن است به دلیل ظاهر امولسیون که رنگ سفید دارد، باشد. همچنین به دلیل افزایش محتوای اسانس در امولسیون مقدار کدورت افزایش یافت. رهایش اسانس انکپسوله شده از سطح میکروکپسول دلیل دیگری برای افزایش کدورت شمرده می‌شود. همچنین در نمونه (S3) افزایش کدورت ممکن است به دلیل افزودن سورفاکتانت توتین به نانو امولسیون باشد. با افزودن توتین پیوندهای جدیدی بین گروه‌های هیدروکسیل ایجاد می‌شود که سبب افزایش کدورت می‌شود. نتایج این تحقیق با نتایج حسین نیا و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد [۲۶].

به سطح غشای میکروکپسول‌ها نیز جذب یا ملحق شوند. در این مطالعه مقدار مطلق پتانسیل زتای امولسیون‌ها کمتر از ۳۰ میلی ولت بود که نشان دهنده پایداری نمونه‌ها می‌باشد. همچنین نتایج حاصله نشان داد که تأثیر فاکتورها بر روی پتانسیل زتا معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.05$). نتایج این تحقیق با نتایج آسودو فانی و همکاران (۲۰۱۵) که بار منفی روی سطح نانو امولسیون‌های اسانس مریم‌گلی را گزارش کردند مطابقت دارد [۲۵]. کازینات سدیم و بتا سیکلودکسترین دارای بار خالص منفی در pH بالاتر از pH ایزو الکتریک خود بودند که به ترتیب برابر با ۷/۶ و ۵/۳ می‌باشد. در نمونه‌های (S1) و (S3) کاهش مقدار پتانسیل زتا به این معنی است که افزایش توان التراسوند موجب کاهش ضخامت بیوپلیمرهای موجود در سطح قطرات اسانس می‌شود؛ بنابراین شدت بالای التراسوند اثرات نامطلوبی بر روی فرآیند انکپسولاسیون دارد.

Table 2 Zeta Potential for nanoemulsions with different formulations.

Sample	Zeta Potential (mv)
NaCS+ β -cy + EO (S1)	0.1 ^c ±-17.69
β -cy + EO (S2)	0.14 ^a ±0.12
EO (S3)	0.12 ^b ±-0.23

The presence of different letters indicates a significant difference at the probability level of *95%.

۴-۳- کارایی درون ریز پوشانی

طبق نتایج آنالیز واریانس داده‌ها اثر غلظت‌های مختلف پلیمر و اسانس بر روی کارایی ریز پوشانی شده تفاوت معنی‌داری داشت ($p < 0.05$). بیشترین میزان کارایی درون‌پوشانی مربوط به نمونه‌ی (S1) حاوی اسانس و کازینات سدیم و بتا سیکلودکسترین می‌باشد که مقدار آن 81.37 ± 0.15 درصد به دست آمد و کمترین مقدار مربوط به نمونه‌ی انکپسوله شده با بتا سیکلودکسترین که مقدار آن برابر با 79.02 ± 0.46 بود می‌باشد. همچنین در نمونه‌ی (S1) اسانس انکپسوله شده با بتا سیکلودکسترین و

۴-۶- بررسی مورفولوژی ذرات ریز پوشانی

شده با میکروسکوپ الکترونی

پس از خشک کردن انجمادی امولسیون ذرات توسط میکروسکوپ الکترونیکی روبشی (SEM) تحت بررسی قرار گرفتند. شکل ۳ تصویر میکروسکوپ الکترونیکی روبشی کپسول‌های پوشیده شده اسانس دارچین با بتا سیکلودکسترین و کازئینات سدیم و شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونیکی روبشی کپسول‌های پوشیده شده اسانس با بتا سیکلودکسترین را نشان می‌دهد. تصاویر مربوطه وجود ذرات کروی و تقریباً بیضوی و هموزن برای نمونه بتا سیکلودکسترین و اسانس همچنین وجود ذرات همگن همراه با حفرات و تخلخل برای نمونه کازئینات سدیم و بتا سیکلودکسترین و اسانس را نشان می‌دهد. موون هوی و همکاران (۲۰۱۸) نتایج مشابهی برای میکروانکپسولاسیون اسانس دارچین با خشک کردن انجمادی با استفاده از بتا سیکلودکسترین گزارش دادند که ذرات بدون منفذ و بدون شکستگی، صاف، کروی، همگن و منظم در کنار هم می‌باشند [۲۸]. نتایج به دست آمده با نتایج آناندهاراماکریشن و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد [۲۹]. با این حال به نظر می‌رسد که نوع بیوپلیمر که به عنوان دیواره کپسول به کار می‌رود ذراتی با قطرهای متفاوت ایجاد می‌کند که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. اندازه ذرات با استفاده از میکروسکوپ الکترونیکی روبشی (SEM) برای نمونه بتا سیکلودکسترین با اسانس میانگین اندازه ذرات ۴۹۳/۳ نانومتر به دست آمد و برای نمونه کازئینات سدیم و بتا سیکلودکسترین و اسانس برابر با ۲۳۴/۵ نانومتر به دست آمد که نتایج نشان می‌دهد، اندازه ذرات امولسیون فریز شده با میکروسکوپ الکترونیکی روبشی کوچکتر هستند. که ممکن است به دلیل از بین رفتن ساختار مولکولی پلیمرها طی فرایند خشک کردن انجمادی باشد.

Table 4 Turbidity measurement for nano emulsions with different formulations.

Sample	NTU
NaCS+ β -cy + EO (S1)	14.74 ^b ±2622
β -cy + EO (S2)	0.65 ^c ±27.30
EO (S3)	100.4 ^a ±4718.32

The presence of different letters indicates a significant difference at the probability level of *95%.

۴-۵- فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در تمامی فرمولاسیون‌های نانوامولسیون حاوی اسانس دارچین خاصیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). جدول آنالیز واریانس داده‌ها در جدول ۵ نشان می‌دهد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی برای اسانس انکپسوله شده با کازئینات سدیم و بتا سیکلودکسترین برابر با 0.23 ± 0.05 و همچنین اسانس آزاد برابر با 0.19 ± 0.05 میکرولیتر بر میلی‌گرم بودند که نشان‌دهنده خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالای اسانس آزاد در مقایسه با حالت انکپسوله شده است. تحقیقات زورزی و همکاران (۲۰۱۶) با نتایج حاصله در این زمینه مطابقت دارد که به تهیه نانو امولسیون از عصاره‌ی نوعی گیاه (*Achyrocline satureioides*) حاوی کوئرستین پرداختند و خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن را با نانو امولسیون‌های تهیه‌شده با آب و بدون کوئرستین مقایسه کردند و گزارش نمودند که تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشته است. درحالی که فرمولاسیون‌های مختلف نانوامولسیون‌ها بر روی خاصیت آنتی‌اکسیدانی کوئرستین اثرگذار بوده است [۲۷].

Table 5 Measurement of antioxidant activity for nano emulsions with different formulations.

Sample	DPPH
NaCS+ β -cy + EO (S1)	0.23 ^c ±85.5
β -cy + EO (S2)	0.19 ^b ±90.76
EO(S3)	0.24 ^a ±93.84

The presence of different letters indicates a significant difference at the probability level of * 95%.

هیدروژنی NH- مربوط به کازئینات سدیم، پیک بزرگی در محدوده عدد موج های $3359/90\text{ cm}^{-1}$ - $2929/58$ نشان داد، در این محدوده پهن بودن پیک، پیوندهای هیدروژنی قوی در ترکیب را نشان می‌دهد. شکل C طیف FT-IR را برای اسانس دارچین نشان می‌دهد که باند جذب $1728/52\text{ cm}^{-1}$ به نوسانات OH ترکیبات مربوط به سینام آلدئید و اوژنول در اسانس دارچین می‌باشد [28]. پیک در محدوده $2957/33\text{ cm}^{-1}$ مربوط به C-H نامتقارن گروه متیل نسبت داده می‌شود که در اکثر ترکیبات فنولی وجود دارد. پیک جذبی $1728/52\text{ cm}^{-1}$ به نوسانات ارتعاشات کششی C=O مربوط می‌شود. پیک تندی در محدوده $1677/24\text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی پیوند سیس C=C می‌باشد. پیک مربوط به $1450/23$ مربوط به ترکیبات آروماتیک ارتعاشات کششی C-C می‌باشد [28]. طیف D مربوط به بتا سیکلودکسترین می‌باشد. عدد موج 3405 cm^{-1} مربوط به نوسانات گروه OH که پیوند کششی دارند و همچنین عدد موج $2927/44\text{ cm}^{-1}$ مربوط به پیوندهای C-H و عدد موج محدوده $1158-1033\text{ cm}^{-1}$ مربوط به باندهای کششی C-O و C-O می‌باشد. طیف A طیف FT-IR را برای کپسول‌های ریزپوشانی شده بتا سیکلودکسترین با اسانس و طیف B طیف FT-IR را برای کپسول‌های ریزپوشانی شده بتا سیکلودکسترین و کازئینات سدیم با اسانس رانشانی‌دهد. با مقایسه طیف‌های تشکیل شده برای پودر انکپسوله شده با بیو پلیمرهای خالص هیچ پیک جدید خاصی در ریز ذرات یافت نشد که بیانگر این است که عصاره در داخل پودر انکپسوله شده قرار گرفته است و احتمال برقراری پیوندهای فیزیکی و شیمیایی موجود می‌باشد چرا که پیک‌های مربوط به عصاره و بیوپلیمر در طیف پودر انکپسوله شده کاملاً مشهود است. این نتایج نشان می‌دهد که تشکیل مجموعه برهم‌کنش‌های واندروالسی بیشتر از برهم‌کنش‌های شیمیایی رخ داده است. بنابراین می‌توان دریافت کرد که برهم‌کنش اسانس دارچین با بیوپلیمرهای خالص بر اساس نیروی واندروالسی می‌باشد که این نتایج با تحقیقات ون و همکاران (2016) مطابقت دارد [31].

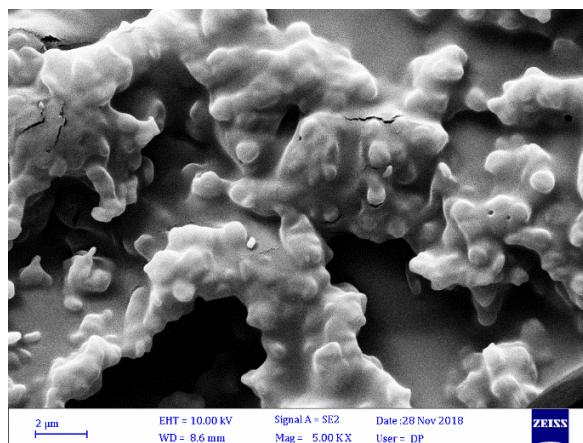


Fig 2 SEM for β -cyclodextrin microcapsules with cinnamon essential oil.

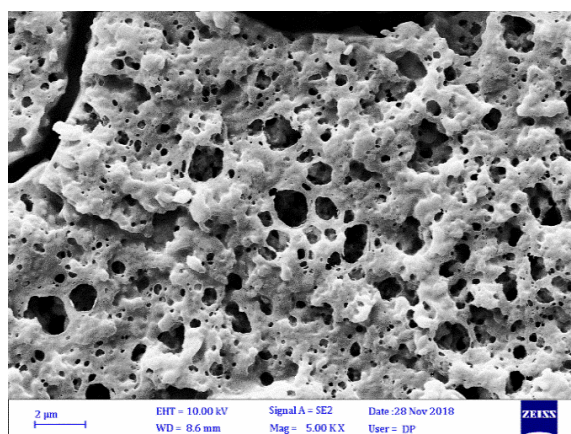


Fig 3 SEM for sodium caseinate / β -cyclodextrin microcapsules with cinnamon essential oil.

۴-۷- آنالیز FT-IR

شکل (۴) طیف FT-IR را برای کپسول‌های ریزپوشانی شده، بتا سیکلودکسترین، کازئینات سدیم، اسانس دارچین نشان می‌دهد. شکل E طیف FT-IR را برای کازئینات سدیم نشان می‌دهد. طیف FT-IR سدیم کازئینات شامل پیک‌های جذبی ویژه آمید I در $1655/18\text{ cm}^{-1}$ ارتعاشات کششی C-O، باند آمید II در $1542/21$ ارتعاشات کششی C-N جفت شده با حالت خمیدگی N-H و باند آمید III در $1258/0/08\text{ cm}^{-1}$ حالت خمیدگی N-H جفت شده با ارتعاشات کششی C-N می‌باشد. این مقادیر برای پیک‌های آمید I، II و III در توافق با مقادیری که قبلاً برای کازئینات سدیم گزارش شده است، می‌باشند [30]. پیوندهای

- [2] McClements, D. J. (2011). Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance. *Soft Matter*, 7(6), 2297-2316
- [3] Nuruzzaman, M. Rahman, M. M. Liu, Y. & Naidu, R. (2016). Nanoencapsulation, nano-guard for pesticides: a new window for safe application. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(7), 1447-1483.
- [4] Champagne, C. P. & Fustier, P. (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*, 18(2), 184-190.
- [5] Desai, K. G. H. & Jin Park, H. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying technology*, 23(7), 1361-1394.
- [6] Kamyshny, A and S: Magdassi (2006). Microencapsulation. In, *Encapsulation of surface and colloid Science*. Soma sandaran, p, ed, Taylor and Francis, CRC press: 3957 – 3969.
- [7] Chen, L. Remondetto, G. E. & Subirade, M. (2006). Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends in Food Science & Technology*, 17(5), 272-283.
- [8] Hogan, S. A. McNamee, B. F. O’Riordan, E. D. & O’Sullivan, M. (2001). Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. *International Dairy Journal*, 11(3), 137-144.
- [9] Klinkesorn, U. Sophanodora, P. Chinachoti, P. & McClements, D. J. (2004). Stability and rheology of corn oil-in-water emulsions containing maltodextrin. *Food research international*, 37(9), 851-859.
- [10] Larsen, K. L. (2002). Large cyclodextrins. *Journal of inclusion phenomena and macrocyclic chemistry*, 43(1-2), 1-13.
- [11] Coleman, A. W. Nicolis, I. Keller, N. & Dalbiez, J. P. (1992). Aggregation of cyclodextrins: An explanation of the abnormal solubility of β -cyclodextrin. *Journal of inclusion phenomena and molecular recognition in chemistry*, 13(2), 139-143.
- [12] Jozwiakowski, M. J. & Connors, K. A. (1985). Aqueous solubility behavior of three cyclodextrins. *Carbohydrate research*, 143, 51-59.
- [13] Namazi, H. Bahrami, S. & Entezami, A. A. (2005). Synthesis and controlled release of biocompatible prodrugs of beta-cyclodextrin linked with PEG containing ibuprofen or

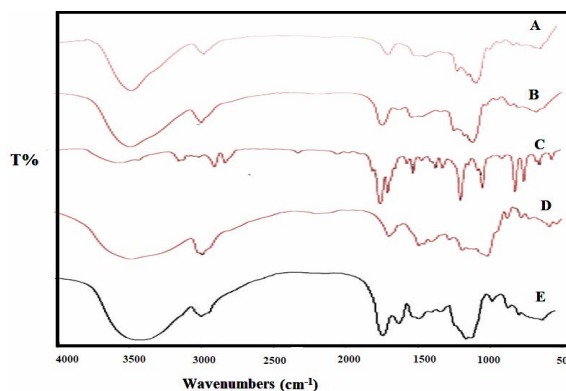


Fig 4 FT-IR (A) β -cyclodextrin with essential oil, (B) β -cyclodextrin and sodium caseinate with essential oil, (C) cinnamon essential oil, (D) β -cyclodextrin, (E) sodium caseinate.

۵- نتیجه گیری

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اسانس دارچین دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که می‌تواند جایگزین مناسبی برای نگهدارنده‌های شیمیایی باشد. ولی با توجه به اینکه استفاده از اسانس‌ها در مواد غذایی با محدودیت‌هایی همراه است می‌توان از فرم کپسوله آن‌ها استفاده کرد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که خاصیت آنتی‌اکسیدانی اسانس دارچین در حالت کپسوله شده کمتر از حالت آزاد است. اثر پلیمرهای مختلف و اسانس بر روی کارایی انکپسولاسیون و خاصیت آنتی‌اکسیدانی تفاوت معنی‌داری داشت. کارایی درون‌پوشانی همه فرمولاسیون‌ها بالای ۷۰ درصد بودند. بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی میکرو کپسول‌های بهینه‌سازی شده به وسیله SEM، شکل‌های همگن و کروی را نشان داد لذا می‌توان از کپسوله کردن اسانس‌های گیاهی در حامل‌های لیپیدی به خصوص نانولیپوزومها از یک طرف محدودیت‌های موجود برای بکار بردن اسانس در مواد غذایی را از بین برده و از طرف دیگر باعث افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها شد.

۶- منابع

- [1] Guerra-Rosas, M. I. Morales-Castro, J. Ochoa-Martínez, L. A. Salvia-Trujillo, L. & Martín-Belloso, O. (2016). Long-term stability of food-grade nanoemulsions from high methoxyl pectin containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, 52, 438-446.

- seed oil: Whey protein isolate versus modified starch. *Food Hydrocolloids*, 56, 71-83.
- [23] Gardouh, A. R. Ghorab, M. M. & Abdel-Rahman, S. G. (2012). Effect of viscosity, method of preparation and homogenization speed on physical characteristics of solid lipid nanoparticles. *ARPN J Sci Technol*, 2, 996-1006.
- [24] Pan, K. Zhong, Q. & Baek, S. J. (2013). Enhanced dispersibility and bioactivity of curcumin by encapsulation in casein nanocapsules. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(25), 6036-6043.
- [25] Acevedo-Fani, A. Salvia-Trujillo, L. Rojas-Graü, M. A. & Martín-Belloso, O. (2015). Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 47, 168-177.
- [26] Hosseinnia, M. Khaledabad, M. A. & Almasi, H. (2017). Optimization of Ziziphora clinopodiodes essential oil microencapsulation by whey protein isolate and pectin: a comparative study. *International journal of biological macromolecules*, 101, 958-966.
- [27] Zorzi, G. K. Caregnato, F. Moreira, J. C. F. Teixeira, H. F. & Carvalho, E. L. S. (2016). Antioxidant effect of nanoemulsions containing extract of *Achyrocline satureioides* (Lam) DC—Asteraceae. *AAPS PharmSciTech*, 17(4), 844-850.
- [28] Munhuweyi, K. Caleb, O. J. van Reenen, A. J. & Opara, U. L. (2018). Physical and antifungal properties of β -cyclodextrin microcapsules and nanofibre films containing cinnamon and oregano essential oils. *LWT*, 87, 413-422.
- [29] Anandharamakrishnan, C. Rielly, C. D. & Stapley, A. G. F. (2007). Effects of process variables on the denaturation of whey proteins during spray drying. *Drying Technology*, 25(5), 799-807.
- [30] Jiménez, A. Sánchez-González, L. Desobry, S. Chiralt, A. & Tehrani, E. A. (2014). Influence of nanoliposomes incorporation on properties of film forming dispersions and films based on corn starch and sodium caseinate. *Food Hydrocolloids*, 35(0), 159-169.
- [31] Wen, P. Zhu, D. H. Wu, H. Zong, M. H. Jing, Y. R. & Han, S. Y. (2016). Encapsulation of cinnamon essential oil in electrospun nanofibrous film for active food packaging. *Food Control*, 59, 366-376.
- indomethacin. *Iranian Polymer Journal*, 14(10), 921.
- [14] Faix, Š. Faixová, Z. Plachá, I. & Koppel, J. (2009). Effect of *Cinnamomum zeylanicum* essential oil on antioxidative status in broiler chickens. *Acta Veterinaria Brno*, 78(3), 411-417.
- [15] Ravindran, P. N. Nirmal-Babu, K. & Shylaja, M. (Eds). (2003). *Cinnamon and cassia: the genus Cinnamomum*. CRC press.
- [16] Trinh, N. T. T. Dumas, E. Thanh, M. L. Degraeve, P. Amara, C. B. Gharsallaoui, A. & Oulahal, N. (2015). Effect of a Vietnamese *Cinnamomum cassia* essential oil and its major component trans-cinnamaldehyde on the cell viability, membrane integrity, membrane fluidity, and proton motive force of *Listeria innocua*. *Canadian Journal of Microbiology*, 61(4), 263-271.
- [17] Seydim, A. C. & Sarikus, G. (2006). Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Research International*, 39(5), 639-644.
- [18] Karimi Sani, I., Alizadeh, M., Pirsá, S., & Moghaddas KIA, E. (2019). Impact of operating parameters and wall material components on the characteristics of microencapsulated *Melissa officinalis* essential oil. *Flavour and Fragrance Journal*, 34(2), 104-112.
- [19] Moghimi, R. Ghaderi, L. Rafati, H. Aliahmadi, A. and McClements, D. J. (2016). Superior antibacterial activity of nanoemulsion of *Thymus daenensis* essential oil against *E. coli*. *Food chemistry*, 194: 410-415.
- [20] Ebrahimabadi, A. H., Mazoochi, A., Kashi, F. J., Djafari-Bidgoli, Z., & Batooli, H. (2010). Essential oil composition and antioxidant and antimicrobial properties of the aerial parts of *Salvia eremophila* Boiss. From Iran. *Food and chemical toxicology*, 48(5), 1371-1376.
- [21] Pirsá, S. Karimi Sani, I. & Khodayvandi, S. (2018). Design and fabrication of starch - nano clay composite films loaded with methyl orange and bromocresol green for determination of spoilage in milk package. *Polymers for Advanced Technologies*, 29(11), 2750-2758.
- [22] Silva, E. K. Azevedo, V. M. Cunha, R. L. Hubinger, M. D. & Meireles, M. A. A. (2016). Ultrasound-assisted encapsulation of annatto

Microencapsulation of cinnamon essential oil Nano emulsion stabilized with β -cyclodextrin and sodium caseinate

Erfani, A. ¹, Pirouzifard, M. ^{2*}, Almasi, H. ³, Gheybi, N. ⁴

1. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University
4. Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University

(Received: 2019/03/14 Accepted: 2019/06/02)

Nowadays, cinnamon essential oil has been considered as an antioxidant and antimicrobial activity for addition to food and biological systems. Directly use of these essential oil for food storage has some limitations due to low solubility in water, high vapor pressure and physical and chemical instability. One of the ways to reduce these limitations is the microencapsulation of essential oils in lipid carriers, including microcapsules. Therefore, the aim of this work was to study the encapsulation of cinnamon essential oil in microcapsules stabilized with sodium caseinate and β -cyclodextrin and also the antimicrobial and antioxidant properties. In this study, in order to encapsulation, different formulations of nano emulsions containing cinnamon essential oil were prepared by ultrasound method and the effect of different polymers on droplet size, encapsulation efficiency, antioxidant properties and turbidity of nano emulsion were investigated. The results showed that the interaction of nano emulsions and encapsulated samples was effective on particle size ($p < 0.05$). The diameters of sodium caseinate with β -cyclodextrin particles size ranged from 234 to 237 nm. Also, the diameter of the β -cyclodextrin particles in the range of 713-717 nm, and the diameter of the essential oil particles size in the range of 84-85 nm. Zeta potential was negative for sodium caseinate with β -cyclodextrin and essential oil. That showed the system had a significant negative charge. The effect of different polymers and essential oil on the encapsulation efficiency and antioxidant properties was significantly different. ($P < 0.05$). The encapsulation efficiency of all formulations was above 70%. SEM-scanning showed homogeneous and spherical shapes with pores. FT-IR analysis confirmed the effect of van der Waals forces in the formation of microcapsules.

Key Words: Nano emulsion, Cinnamon essential oil, Encapsulation, β -cyclodextrin.

* Corresponding Author E-Mail address: K.pirouzifard@yahoo.com