

نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی

مسعود نجف نجفی *

گروه صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد

چکیده

تقاضای مصرف کنندگان برای ترکیبات طبیعی به منظور توسعه نگهدارنده‌های جدید مواد غذایی در طی چند سال گذشته افزایش یافته است. بر همین اساس علاقه به استفاده از اسانس‌های گیاهی به‌عنوان ترکیبات ضد میکروبی و نگهدارنده طبیعی در صنایع غذایی رشد چشمگیری را نشان می‌دهد ولی عطر و طعم حاصل از افزودن این ترکیبات و خاصیت آبریزی بالا، استفاده از آن‌ها را در مواد غذایی با مشکل جدی مواجه کرده است. یکی از گزینه‌های اصلی حل این مشکلات، تولید نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی می‌باشد. نانوامولسیون‌ها ضمن حفظ خصوصیات اصلی غذاها، خاصیت ضد میکروبی اسانس‌های گیاهی را در مواد غذایی با کمک به افزایش پراکندگی آن‌ها در محیط‌های غذایی تقویت می‌کنند. درک این که چگونه نانوامولسیون‌ها در انتقال جرم اسانس‌های گیاهی به غشای سلول و در مکانیسم عمل ضد میکروبی دخالت دارند نیاز به مطالعه و بررسی دقیق فرمولاسیون، روش تولید و سیستم‌های رهایش هدفمند دارد. این مطالعه به بررسی چگونگی تهیه این نانوامولسیون‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: اسانس‌های گیاهی، رهایش، مکانیسم، نانوامولسیون.

ایمیل نویسنده مسئول: Mnajafi.mhd@gmail.com

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، صنایع غذایی با تقاضای فزاینده‌ای برای ترکیبات طبیعی به منظور توسعه نگهدارنده‌های جدید مواد غذایی در برابر فساد و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مواجه بوده است. اسانس‌های گیاهی ترکیبات معطر طبیعی با دامنه گسترده‌ای از فعالیت‌های بیولوژیکی می‌باشند [۱]. تا به امروز، اسانس‌های گیاهی به عنوان مواد افزودنی طعم دهنده در داروها و مواد آرایشی و بهداشتی، حشره کش‌ها، آنتی اکسیدان، عوامل ضد التهاب، ضد حساسیت و ضد سرطان مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲]. دارا بودن خاصیت قوی ضد میکروبی بسیاری از اسانس‌های گیاهی به‌عنوان یک نگهدارنده طبیعی سبب شده است تا در محصولات غذایی مورد توجه باشند [۳]. اما واکنش‌پذیری بالا و آب‌گریزی آن‌ها باعث بروز مشکلاتی جدی در هنگام استفاده در محصولات غذایی گردیده است. برای حفظ فعالیت بیولوژیکی و به حداقل رساندن تأثیر اسانس‌های گیاهی بر خواص حسی مواد غذایی، نیاز به درون‌پوشانی در سیستم‌های تحویل را دارند که سازگار با خصوصیات ماده غذایی باشد [۴]. سیستم‌های تحویل

بر پایه امولسیون را می‌توان با اجزای غذایی فرموله کرد تا به راحتی در بخش‌هایی از مواد غذایی که در آن میکروارگانیسم‌ها رشد و تکثیر یافته‌اند، پراکنده شوند. این مطالعه به بررسی نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی به عنوان عوامل نگهدارنده طبیعی در مواد غذایی می‌پردازد.

۲- نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی

نانوامولسیون‌ها، گروهی از امولسیون‌ها می‌باشند که به راحتی می‌توانند با درون‌پوشانی اسانس‌های گیاهی، مشکلات استفاده از آن‌ها در سیستم‌های غذایی را مرتفع نمایند. علاوه بر این، نانوامولسیون‌ها مزایای متعدد دیگری مانند به حداقل رساندن تأثیر بر خواص حسی محصولات غذایی و افزایش فعالیت زیستی با توجه به اندازه و انتشار بهتر را دارا می‌باشند [۵]. نانوامولسیون‌های روغن در آب (O/W) از قطرات روغن با میانگین اندازه ۲۰ تا ۲۰۰ نانومتر تشکیل شده‌اند که در یک محیط آبی پراکنده هستند و توسط یک لایه امولسیفایر تثبیت می‌گردند. سورفکتانت‌هایی با قابلیت استفاده در مواد غذایی (پلی سوربات‌ها، استرهای شکر، لستین) یا بیوپلیمرها (صمغ‌های طبیعی، پروتئین‌های گیاهی یا حیوانی، نشاسته اصلاح شده) اغلب به‌عنوان عوامل امولسیون کننده و حتی در بعضی از موارد بخشی از نانوامولسیون‌ها هستند که برخی از رفتار بین سطحی خاصی را ایجاد می‌کنند (نیروهای الکترواستاتیک، دافعه فضایی و رئولوژی) و همچنین قابلیت بارگذاری و پاسخگویی به تنش‌های محیطی را دارا می‌باشند [۶]. نانوامولسیون‌ها با توجه به اندازه خود، دارای خواص متمایز و منحصر به فردی هستند [۷]:

- نسبت به امولسیون‌ها پایدارتر هستند.
- به طور طبیعی در اثر حرکت براونی تمایل به جدایی فیزیکی دارند.
- قدرت نیروهای خالص جاذب که معمولا بین قطرات عمل می‌کنند، با کاهش قطر ذرات کاهش می‌یابد.

آسیاب کلوئیدی که همچنین به عنوان همگن ساز برشی با سرعت بالا شناخته شده است، شامل تمام دستگاه‌های مجهز به سرعت بالای دارای سیستم روتور / استاتور می‌باشد. در این تکنیک، امولسیون‌سازی توسط تنش‌های برشی شدید، اصطکاک و ارتعاشات با فرکانس بالا کنترل می‌گردد. علیرغم این که سیستم‌های آسیاب‌های کلوئیدی مقرون به صرفه بوده و یک روش راحت تهیه امولسیون به شمار می‌روند اما دستیابی به اندازه قطرات امولسیون دلخواه (ریزتر) با این روش به لحاظ شدت پایین‌تر تنش مایع مکانیکی نسبت به سیستم‌های دیگر دارای محدودیت می‌باشد. بنابراین از آسیاب کلوئیدی به عنوان یک روش مقدماتی در تهیه امولسیون استفاده گردیده و معمولاً امولسیون تهیه شده با این روش با سیستم بعدی که همگن کننده با فشار بالا یا امواج فراصوت است، مجدداً در معرض تنش قرار خواهد گرفت [۱۱].

تهیه امولسیون با غشاء، فرآیندی با نیروی برشی پایین و انرژی کم است که مخصوصاً برای تولید امولسیون‌های روغن در آب با منحنی توزیع اندازه قطرات باریک مناسب می‌باشد. در این روش، جریان فاز پراکنده روغن یا یک امولسیون ابتدایی با اندازه قطرات درشت از میان غشاء میکرونی حاوی سورفاکتانت آبدوست عبور می‌کند. علیرغم امتیازاتی که این روش در خصوص بکارگیری انواع مختلفی از غشاء با اندازه‌های مختلف و تغییر شرایط فرایند دارد هنوز بطور جدی در تهیه نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی مورد استفاده قرار نگرفته است [۹].

نانوامولسیون‌ها می‌توانند با کمک فرایندهای فیزیکوشیمیایی نیز ساخته شوند. بر اساس ارتباط خودبه‌خودی سورفاکتانت‌های اطراف مولکول اسانس که با کمک تعادل نیروهای جاذبه و دافعه از یکدیگر رانده شده و سبب ایجاد تعادل ترمودینامیکی در سیستم می‌شوند. از این رو، بازسازی ساختار قطرات روغن به شدت به خواص مولکول‌های موجود و به ویژه حلالیت آن‌ها، هندسه مولکولی و فعالیت سطحی بستگی دارد [۱۲].

مصرف پایین انرژی در روش‌های Bottom-up، آن‌ها را قادر به تولید قطرات بسیار ریز با استفاده از تجهیزات ارزان قیمت می‌نماید و از تخریب مولکول‌های درون‌پوشانی شده در طول فرایند نیز جلوگیری می‌کند. با این حال، این روش‌ها محدودیت‌هایی مانند نیاز به مقدار زیاد سورفاکتانت و لزوم انتخاب دقیق آن‌ها دارا می‌باشند [۱۳]. در روش‌های پایین به بالا، فرایند امولسیون‌سازی معمولاً در دمای ثابت و تغییر ساختار یا در ساختار ثابت و تغییر دما اتفاق می‌افتد. امولسیون‌سازی خودبه‌خودی، جانشین سازی حلال، معکوس شدن امولسیون و معکوس شدن فاز از جمله تکنیک‌های مرسوم برای تولید نانوامولسیون‌ها با این روش می‌باشند.

امولسیون خودبه‌خودی شامل شکل‌گیری قطرات روغن ریز با مخلوط کردن یک فاز آلی حاوی عمدتاً سورفاکتانت آبدوست با یک فاز آبی می‌باشد. انتقال مولکول‌های سورفاکتانت از فاز آلی به فاز آب منجر به تلاطم سطحی و به شکل‌گیری خودبه‌خودی قطرات روغن در مقیاس نانو می‌گردد [۱۲].

• هنگامی که قطر قطرات بسیار کوچک‌تر از طول موج نور باشند، نانوامولسیون‌ها نور را متفرق نخواهند کرد و به شکل سیستم شفاف و یا با کمی کدورت مشاهده می‌شوند. این ویژگی سبب استفاده گسترده آن‌ها در سیستم‌های غذایی شفاف می‌گردد.

• با کاهش اندازه ذرات، فعالیت بیولوژیکی ترکیبات چربی دوست درون پوشانی شده (اسانس‌های گیاهی) در نانوامولسیون افزایش می‌یابد.

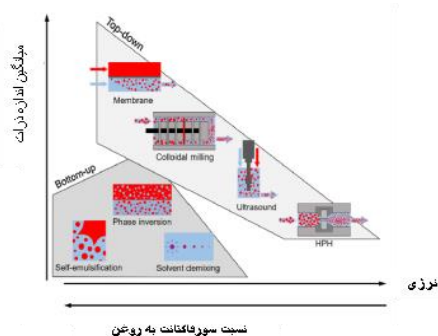
بنابراین درون‌پوشانی ترکیبات چربی دوست با خصوصیات عملکردی توسط نانوامولسیون‌ها دارای مزایای متعددی می‌باشد.

۱-۳- روش‌های تولید

در تعدادی از روش‌ها که به TOP-down معروف هستند، برای کاهش اندازه از نیروهای مکانیکی استفاده می‌شود (شکل ۱). در این تکنیک‌ها، تنش‌های مکانیکی از طریق سیال به قطرات روغن اعمال می‌گردد و فرآیند امولسیون‌سازی در دو مرحله اتفاق می‌افتد [۸]:

(الف) شکستن قطرات درشت تر به قطرات ریزتر
(ب) جذب شدن امولسیفایر در سطح مشترک تازه تشکیل شده به منظور جلوگیری از بهم پیوستگی قطرات و ناپیدار شدن سیستم. سیستم‌های مورد استفاده برای تولید نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی بر اساس این روش عبارتند از: آسیاب‌های کلوئیدی، امواج فراصوت و همگن کننده با فشار بالا. این سیستم‌ها مقادیر زیادی از انرژی را ($500-50 \text{ MJ/m}^3$) به سیال فرایند منتقل می‌کنند. سیستم امولسیون‌سازی با کمک غشاء نیز از جمله این روش‌ها با مصرف انرژی کم محسوب می‌گردد [۹].

تهیه نانوامولسیون بوسیله همگن کننده با فشار بالا، یک فرایند مداوم است. در این سیستم، مایع فرایند در فشار بالا (۵۰-۴۰۰ MPa) فشرده شده و از محفظه خاصی عبور می‌کند. برش شدید و تنش کششی، تلاطم و کاویتاسیون تولید شده در این محفظه سبب شکستن قطرات روغن و پراکنده شدنشان در مایع می‌گردد. شکل هندسی این محفظه بر میزان نیروی وارده بر قطرات مؤثر می‌باشد [۷]. امواج فراصوت یکی دیگر از روش‌هایی است که در مقیاس آزمایشگاهی برای ساخت نانوامولسیون‌ها به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. اساس این روش ایجاد اغتشاش در سطح روغن-آب و تشکیل قطرات ریز، ناشی از پدیده کاویتاسیون می‌باشد [۱۰].



شکل ۱. شماتیک روش‌های مختلف تهیه نانوامولسیون‌های روغن در آب [۹]

به طور مشابه، روش‌های معکوس شدن فاز بر مبنای تکنیک امولسیون خودبه‌خودی ناشی از کنترل رفتار بین سطحی سورفاکتانت در سطح مشترک روغن و آب، القای یک تغییر از قسمت چربی دوست به سمت آب دوست عمدتاً در پاسخ به تغییرات در ترکیب سیستم و یا شرایط محیطی مانند دما، غلظت نمک، غلظت سورفاکتانت و pH می‌باشد [۱۲].

۲-۳- فرمولاسیون

فرمولاسیون نقش تعیین کننده ای در دست یافتن به حداقل اندازه قطرات در امولسیون دارد. همچنین در تعیین خصوصیات سطحی و فعالیت بیولوژیکی نانوامولسیون نیز مؤثر است. علاوه بر این، انتخاب مواد و غلظت آن‌ها باید با توجه به قوانین موجود برای فرمولاسیون مواد غذایی بوده و توجه اقتصادی نیز داشته باشد. انتخاب یک امولسیفایر مناسب و غلظت آن با توجه به فاز روغنی به عوامل مختلفی از جمله پوشش مورد نیاز سطح برای امولسیون‌های پایدار، کشش سطحی، سینتیک جذب در لایه سطح مشترک روغن و آب، بازآرایی مولکولی امولسیفایرهای با وزن مولکولی بالا (مانند پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها) و تعادل آبدوست-چربی دوست مولکول‌های سورفاکتانت و یا غلظت و محل بخش آبگریز در امولسیفایرهای با وزن مولکولی بالا بستگی دارد [۱۴]. همچنین ویسکوزیته فاز پراکنده، فرایند امولسیون سازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در ویسکوزیته‌های بالا بهتر است از تکنیک‌های مکانیکی استفاده کرد. همچنین وقوع پدیده استوالد در هنگام تولید نانوامولسیون‌های گیاهی بسیار محتمل می‌باشد. این پدیده را می‌توان با تغییر جزء بندی اسانس‌های گیاهی میان ریز قطرات چربی و فاز آبی کاهش داد. به‌عنوان مثال با مخلوط کردن تری گلیسریدهای حاوی اسیدهای چرب زنجیر بلند تا متوسط، یک انتروپی مؤثر برای خنثی کردن عدم تعادل اثر اندازه ریز قطره ایجاد می‌شود [۱۵]. در روش دیگری از تلفیق اسانس‌های گیاهی تا حدی انحلال پذیر در آب مانند د-لیمونن در نانوامولسیونی که در فاز آبی آن اسید سیتریک وجود دارد، استفاده می‌کنند. این فرمولاسیون باعث کاهش قطبیت اسانس گیاهی و ممانعت از وقوع پدیده استوالد می‌گردد [۱۶].

جدول ۱: تعدادی از فرمولاسیون نانوامولسیون‌های گیاهی [۱۳].

Oil phase	Emulsifier	Method	Mean droplet size (nm)
Carvacrol and peanut oil	Tween 20 + monoolein (1:1)	High pressure homogenization	120
Eucalyptus oil	Tween 80	Ultra Sound	5
Thymol	Sodium caseinate	High shear homogenization	110
Cinnamaldehyde	Tween 80	Microfluidization	127
Clove bud oil	Wpc+ gum arabic + lecithin	Self-emulsification	240
D-limonene	Tween 80	Phase inversion	16

یکی دیگر از ویژگی‌های ناشی از فرمولاسیون، پتانسیل زتا یا بار سطحی ریز قطرات نانوامولسیون می‌باشد. با استفاده از یک یا چند ترکیب در فرمولاسیون مورد استفاده می‌توان بار سطحی ریزقطرات را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که مخالف بار دیواره باکتری‌ها بوده و به‌راحتی جذب آن‌ها شوند [۴].

ویژگی مهم دیگر نانوامولسیون‌ها که از طریق فرمولاسیون آن قابل کنترل است، قابلیت هضم آن‌ها در سیستم گوارش پس از مصرف می‌باشد. در این ارتباط نوع ترکیبات استفاده شده و میانگین اندازه ذرات تشکیل شده در نانوامولسیون بسیار با اهمیت می‌باشد [۱۳].

استفاده از نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی، به دلیل جلوگیری از فراریت و محبوس کردن طعم تند، اهمیت بسزایی در حفظ خواص حسی محصولات فرمولاسیون محصول نهایی دارد. با این حال، با وجود حجم وسیعی از مقالات موجود در استفاده از نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی به‌عنوان نگهدارنده طبیعی مواد غذایی، تأثیر بر خصوصیات حسی غذاها زیاد مورد توجه قرار نگرفته است. میزان استفاده از این امولسیون‌ها در مواد غذایی متفاوت است. در آب گوچه فرنگی، سوپ سبزیجات و برگ‌های مرغ بسته به نوع اسانس گیاهی و بافت غذا و ترکیبات آن بین ۲۰ تا ۲۰۰ میکرولیتر در لیتر متغیر می‌باشد [۲].

۴- فعالیت ضد میکروبی نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی

فعالیت ضد میکروبی اسانس‌ها به طور گسترده‌ای در سال‌های اخیر به‌عنوان جایگزین طبیعی برای افزودنی‌های مصنوعی مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است [۲]. فعالیت‌های ضد میکروبی نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی اهداف متعددی را در داخل سلول دنبال می‌کند. این ویژگی مولکولی بر اساس خاصیت آبگریزی آن‌ها می‌باشد. ترکیبات فنلی آن‌ها با لیپیدهای غشای سلولی واکنش داده و سبب افزایش نفوذ پذیری غشاء، اختلال در ساختار سلول اصلی و پراکندگی و خروج یون‌ها و محتوای سیتوپلاسمی می‌گردد [۴]. بنابراین درون‌پوشانی اسانس‌های گیاهی با سیستم امولسیونی باعث افزایش پراکندگی آن‌ها در ماده غذایی می‌شود و پایداریشان را به‌دنبال خواهد داشت. قدرت فعالیت ضد میکروبی گزارش شده برای بسیاری از نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی در مقایسه با اسانس گیاهی آزاد به مراتب گسترده‌تر و قوی‌تر می‌باشد زیرا اندازه ریزتر قطرات نانوامولسیون و بار سطحی آن‌ها امکان جابجایی و انتقال آسان‌تر اسانس را به غشاء سلولی و دیواره فراهم می‌کند. همچنین واکنش آن‌ها را با جایگاه‌های مولکولی موجود بر روی غشاء سلول میکروب تسهیل می‌نماید [۱].

سیستم‌های تحویل و انتقال نانوامولسیون‌های اسانس‌های گیاهی و تأثیر بر غشاء سلولی میکروارگانیسم معمولاً از چهار مسیر اصلی انجام می‌گیرد:

- افزایش سطح و انتقال غیر فعال از طریق غشاء سلولی خارجی سبب بهبود برهم‌کنش با غشاء سیتوپلاسمی می‌گردد [۱۵]. قطرات کوچک نانوامولسیون با دارا بودن سطوح

- رهایش هدفمند نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی برای دستیابی به عملکرد به‌ترمخصوصاً زمانی که ویژگی‌های ماده غذایی در اثر رشد میکروبی و تغییر pH دستخوش تحول می‌شود، مورد توجه جدی‌تری قرار گیرد.
 - سیستم‌های رهایش اسانس‌های درون‌پوشانی شده نیز باید با در نظر گرفتن پوشش طعم و مزه و حفظ خاصیت ضد میکروبی آن‌ها، طراحی شوند.
 - استفاده ترکیبی از نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی باید با در نظر گرفتن جایگاه‌های مولکولی متعدد موجود در غشای سلولی میکروبی، انجام شود. باید توجه داشت که استفاده ترکیبی از اسانس‌ها ممکن است اثرات آنتاگونیستی داشته باشد.
 - درک بهتر از مکانیسم‌هایی که بوسیله نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی درون‌پوشانی شده عمل می‌کند نیاز به مطالعات بیشتر در خصوص سیستم‌های ضد میکروبی و رویکردهای لازم دارد.
 - ترکیبی از کاربردهای نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی یا سایر فن‌آوری‌های ممانعت‌کننده رشد میکروبی نظیر تابش اشعه گاما، ازن، ماوراء بنفش، فشار بالا، میدان‌های مغناطیسی نوسانی یا بسته‌بندی‌های اتمسفر اصلاح شده برای کمک به افزایش ماندگاری محصول با حفظ ویژگی‌ها و تازگی آن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.
 - در تهیه و فرمولاسیون نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی، هزینه‌های اقتصادی باید مورد توجه دقیق باشد.
- جدول ۲: تعدادی از نانومولسیون‌های گیاهی استفاده شده در محصولات غذایی [۳].

Product	Contamination	Essential oil	Formulation
Orange juice	L. monocytogenes	Thymol	Sodium caseinate
Spinach leaves	E. coli, S. enterica	Carvacrol/ Eugenol	Tween 20/Surfynol 485 W/SDS
Apple pieces	E. coli, Endogenous flora	Lemongrass	Tween 80, sodium alginate
Sliced bread	Endogenous flora	Clove bud oil/Oregano oil	Tween 80, methylcellulose
Plums	E. coli,	Lemongrass oil	Tween 80, carnauba wax
Green beans	L. innocua	Mandarin oil	Tween 20 + monoolein, modified chitosan

۵- نتیجه‌گیری

تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات طبیعی بی‌خطر طی سال‌های گذشته افزایش یافته است. همین امر باعث شده تا محققین به دنبال جستجو برای روش‌های نگهداری بی‌خطر و سالم به‌منظور بهبود کیفیت میکروبی و ایمنی مواد غذایی، بدون ایجاد

آبدوست قادر به عبور از غشاء سلولی از طریق پروتئین‌های پورین که به صورت کانال‌های آبدوست برای باکتری‌های گرم منفی عمل می‌کنند، می‌باشند [۳]. در مورد باکتری‌های گرم مثبت و مخمرها، قطرات کوچک نانومولسیون با آوردن اسانس گیاهی به سطح غشای سلولی، سبب بهبود دسترسی به سلول‌های میکروبی می‌گردند. بدین ترتیب اختلال در غشاء سلول با تغییر یکپارچگی در لایه فسفولیپیدی یا تغییر در پروتئین انتقال فعال موجود در لایه فسفولیپید ایجاد می‌نمایند [۱۶].

- ریز قطرات کوچک نانومولسیون توانایی ترکیب شدن با دو لایه فسفولیپید غشاء سلولی و آزاد کردن اسانس گیاهی در جایگاه مورد نظر را دارا می‌باشند. همچنین برهم کنش خاص بین امولسیفایر و غشای سلولی نیز سبب افزایش فعالیت ضد میکروبی نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی می‌شود [۱۳].
 - رهایش پایدار اسانس گیاهی از قطرات نانومولسیون با گذشت زمان که با تقسیم شدن اسانس میان قطرات روغن و فاز آبی صورت گرفته است، زمان تأثیرگذاری اسانس را طولانی‌تر می‌نماید. در این سیستم، قطرات نانومولسیون همچون منبع ذخیره ای عمل می‌کنند که مولکول‌های اسانس در تعادل فعال بین فاز روغنی پراکنده و فاز آبی پیوسته هستند [۳].
 - واکنش الکترواستاتیک ریز قطرات کوچک نانومولسیون با بار مثبت با دیواره‌های سلولی میکروبی با بار منفی، افزایش غلظت اسانس را در جایگاه‌های هدف به‌دنبال خواهد داشت.
- البته شناخت دقیق‌تر این مکانیسم‌ها مستلزم انجام تحقیقات بیشتر می‌باشد.

۵- استفاده از نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی در مواد غذایی

استفاده از نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی در فراورده‌های غذایی هنوز چالش‌های فراوانی دارد. تعدد عوامل فساد و انواع مختلف میکروارگانیسم‌های آلاینده در مواد غذایی، استفاده از طیف گسترده‌ای از سیستم‌های ضد میکروبی را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. همچنین فراربت بالا، واکنش پذیری و عطر و بوی اسانس گیاهی موجب بروز اختلالات شدیدی در ویژگی‌های حسی محصول و در نتیجه بروز خصوصیات ناخواسته در آن می‌شود. ازاین‌رو نکات ذیل در تهیه نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی باید مورد توجه قرار گیرد [۱۶]:

- فرمولاسیون نانومولسیون‌های اسانس‌های گیاهی باید با توجه به شرایط و خواص محصول تهیه شود تا ضمن تأثیر حداکثری بر فلور میکروبی، حداقل اثر ممکن را بر خواص حسی ماده غذایی داشته باشد.

speed dispersing. *Journal of Food Science and Technology*. 64 (14), 116-126, 2017.

10. W, Liu; XL, Yang; WS, Winston Ho; Preparation of uniform sized multiple emulsions and micro/nano particulates for drug delivery by membrane emulsification. *Journal of Pharmacology Science*, 2011.

11. M, Sessa; F, Donsi; Nanoemulsion based delivery systems. In: Sagis, L.M.C.(Ed.), *Microencapsulation and Microspheres for Food Applications*. Elsevier, London, pp: 79-94, 2015.

12. F, Donsia; G, Ferrari; Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*, 233: 106-120, 2016.

13. DJ, McClements; J, Rao; Food-grade nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Critical Review Food Science and Nutrition*, 51: 285-330, 2011.

14. M, Najaf Najafi; V, Hosaini; A, Mohammadi-Sani; A, Koocheki; Physical stability, flow properties and droplets characteristics of Balangu (*Lallemantia royleana*) seed gum/whey protein stabilized submicron emulsions. *Food Hydrocolloids* 59: 2-8. 2016.

15. M, Najaf Najafi; R, Kadkhodae; SA, Mortazavi; Effect of drying process and wall material on the properties of encapsulated cardamom oil. *Food biophysics* 6 (1): 68-76. 2011.

16. R, Moghimi; L, Ghaderi; H, Rafati; A, Aliahmadi; DJ, McClements; Superior antibacterial activity of nanoemulsion of *Thymus daenensis* essential oil against *E. coli*. *Food Chemistry*. 194: 410-415, 2016.

ضرر و زیانهای تغذیه‌ای و حسی آنها باشند. در این ارتباط، خواص ضد میکروبی طبیعی اسانس‌های گیاهی، باید مورد توجه جدی قرار گیرد. درون‌پوشانی اسانس‌های گیاهی در نانوامولسیون‌هایی با قابلیت مصرف در غذاها ضمن این که خصوصیات ضد میکروبی آنها را حفظ می‌کند، سبب پایداری و کارآمدی بهتر آنها نیز می‌گردد.

۶- منابع

1. A, Asbahani; K, Miladi; W, Badri; M, Sala; EHA, Addi; H, Casabianca; A, ElMousadik; D, Hartmann; A, Jilale; FNR, Renaud; A, Elaissari; Essential oils: from extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmacology* 483: 220-243, 2015.
2. YX, Seow; Yeo, CR, Chung; HL, Yuk; Plant essential oils as active antimicrobial agents. *Critical Review Food Science and Nutrition*. 54: 625-644, 2014.
3. F, Donsi; M, Annunziata; M, Sessa; G, Ferrari; Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. *LWT: Food Science and Technology*, 44: 1908-1914, 2011.
4. U, Buranasuksombat; YJ, Kwon; M, Turner, B, Bhandari; Influence of emulsion droplet size on antimicrobial properties. *Food Science and Biotechnology*, 20: 793-800, 2011.
5. M, Najaf Najafi; R, Kadkhodae; SA, Mortazavi; Effect of the interaction of Hi-Cap100 and Tween 80 on cardamom oil in water emulsion characteristics and microcapsules made from it. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 6 (1): 9-16, 2010.
6. M, Najaf Najafi; SA, Mortazavi; R, Kadkhodae; F, Tabatabae; The factors affecting the formation and properties of nano-emulsion stabilized with sodium caseinate and Tween 80. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 6 (4): 254-262, 2011.
7. M, Najaf Najafi; R, Kadkhodae; Microencapsulation of Limonene by freeze drying: Effect of type and concentration of wall material. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 7 (3): 210-217, 2011.
8. R, Kadkhodae; M, Najaf Najafi; The factors affecting the characteristics of limonene in water emulsion stabilized with sodium caseinate. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 7 (4): 314-323, 2012.
9. M, Najaf Najafi; A, Fazeli; Evaluation of *Lepidium sativum* seed gum effect on physical stability and flow properties of oil-in-water emulsion prepared by high-