Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2322 - 2069
Online ISSN: 2322 - 2794

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Application of nanoemulsions for encapsulation of bioactive compounds: Enrichment and shelf life extension of food

Hamed Hassanzadeh[1*], Donya Minasian[2], Babak Ghanbarzadeh[3]

[1]Assistant Professor, Department of Food Science and Hygiene, Faculty of Para-Veterinary, Ilam University, Ilam, Email: h.hassanzadeh@ilam.ac.ir
[2]PhD student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia
[3]Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022-03-29
Revised: 2022-07-01
Accepted: 2022-08-03

Keywords:
Nanoemulsion
Essential Oil
Bioavailability
Functional Food
Enrichment

ABSTRACT

Background and Objective: Nowadays, consumers' concerns about the toxic and carcinogenic effects of artificial additives and their desire for healthy foods encourage manufacturers to use natural, healthy additives and produce functional foods. In fact, the most common way to develop functional foods is enrichment of food products with bioactive compounds during production. Many bioactive compounds contain antioxidant, antimicrobial, flavoring, coloring, nourishing and therapeutic properties that are widely used in the food industry. Bioactive compounds have many health benefits, but their many disadvantages, including high organoleptic effect due to the bitterness and spicy taste of some compounds, low solubility, stability and bioavailability, limit their use in food and on the other hand many of these compounds are sensitive to heat and are lost during food processing. Therefore, to overcome these challenges and improve the performance and high bioavailability of natural bioactive compounds, researchers have proposed their encapsulation as a suitable solution that can be classified as micro-encapsulation and nano-encapsulation based on nanoparticles size.

Results: Although the current use of nanoemulsions in food products is relatively limited, these colloidal systems have significant potential for application in several fields. Nanoemulsions have long been popular because of their widespread use in drugs, pesticides, cosmetics, food, dyes, and environmental applications. Applications of nanoemulsion systems in the food industry can be attributed to their role in the formulation of foods and beverages with beneficial compounds encapsulated such as coenzyme Q1, lycopene, lutein, beta-carotene, omega-3 fatty acids, vitamins A, D3, E, phytosterols and isoflavones. Nanoemulsion-based carrier systems must be compatible with the food matrix and have minimal impact on the organoleptic properties of the food, such as taste, appearance, and texture. In general, the encapsulation may promote the protection and sustainable delivery of active compounds in food formulations, improve the stability of these compounds during processing and storage, and may also help control and maintain the release of natural compounds in food matrices, therefore, providing their effect for a longer period of time. In the food industry, nanoemulsions have been studied for the encapsulation, stabilization, and delivery of compounds such as flavorings, omega-3 fatty acids, vitamins, preservatives, and nutrients.

Conclusion: Therefore, this study summarizes the recent advances in using of nanoemulsions of bioactive compounds as a natural additive in various food products, including oil-based products, dairy products, meat products and juices. According to the results, the application of natural bioactive compounds in the form of nanoemulsions in the formulation of these food products has led to the improvement of antioxidant and antimicrobial activity, bioavailability and sensory and nutritional properties of fortified foods.

Cite this article: Hassanzadeh, H., Minasian, D., Ghanbarzadeh, B. 2022. Application of nanoemulsions for encapsulation of bioactive compounds: Enrichment and shelf life extension of food. *Food Processing and Preservation Journal*, 14 (3), 1-34.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/FPPJ.2022.19912.1699
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵٤٤-۲٤۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲٤۲۳

مروری بر استفاده از نانوامولسیون‌ها در درون پوشانی ترکیبات زیست فعال: کاربرد آنها در غنی‌سازی و افزایش ماندگاری مواد غذایی

حامد حسن‌زاده[۱*]، دنیا میناسیان[۲]، بابک قنبرزاده[۳]

[۱] استادیار، گروه بهداشت و صنایع غذایی، دانشکده پیرادامپزشکی، دانشگاه ایلام، ایلام، رایانامه: h.hassanzadeh@ilam.ac.ir
[۲] دانشجوی دکتری تخصصی، گروه علوم وصنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه
[۳] استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۱/۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/٤/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۵/۱۲

واژه‌های کلیدی:
نانوامولسیون
اسانس
زیست فراهمی
غذاهای عملگرا
غنی‌سازی

چکیده

سابقه و هدف: امروزه نگرانی مصرف کنندگان از اثرات سمی و سرطان‌زای مواد افزودنی مصنوعی و تمایل آن‌ها به مواد غذایی سالم، تولیدکنندگان را به استفاده از افزودنی‌های طبیعی، سالم و تولید غذاهای عملگرا تشویق می‌کند. در واقع متداول‌ترین روش برای توسعه غذاهای عملگرا، غنی‌سازی محصولات غذایی با ترکیبات زیست فعال در طول تولید می‌باشد. بسیاری از ترکیبات زیست فعال حاوی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدمیکروبی، طعم‌دهندگی، رنگ دهندگی، تغذیه‌ای و درمانی هستند که به طور گسترده در صنایع غذایی استفاده می‌شوند. ترکیبات زیست فعال فواید زیادی برای سلامتی دارند، اما معایب متعدد آنها از جمله پذیرش حسی پایین به‌دلیل تلخی و طعم تند برخی از ترکیبات، حلالیت، پایداری و زیست فراهمی پایین منجر به محدودیت استفاده از آن‌ها در غذا می‌شود. از طرف دیگر بسیاری از این ترکیبات نسبت به حرارت حساس هستند و در طول فرآوری مواد غذایی از بین می‌روند. بنابراین، محققان برای غلبه بر این چالش‌ها و بهبود عملکرد و زیست فراهمی بالای ترکیبات زیست فعال طبیعی، درون پوشانی آن‌ها را به عنوان یک راهکار مناسب پیشنهاد کردند که بر حسب اندازه ذرات حامل، به نانو و میکرو درون پوشانی طبقه بندی می‌شود.

یافته‌ها: گرچه استفاده کنونی از نانوامولسیون‌ها در محصولات غذایی نسبتاً محدود است، اما این سیستم‌های کلوئیدی پتانسیل کاربردی قابل توجهی دارند. نانو امولسیون‌ها مدت‌هاست به‌دلیل قابلیت استفاده گسترده در داروها، سموم، دفع آفات، مواد آرایشی، مواد غذایی، رنگ و کاربردهای محیطی محبوبیت یافته‌اند. ازجمله کاربردهای سیستم‌های نانوامولسیونی در صنایع غذایی می‌توان به نقش آن‌ها در فرمولاسیون مواد غذایی و نوشیدنی‌های دارای ترکیبات فراسودمند پوشش یافته مانند کوآنزیم Q1، لیکوپن، لوتئین، بتاکاروتن، اسیدهای چرب امگا سه، ویتامین‌ها A، D_3، E، فیتواسترول‌ها و ایزوفلاون‌ها اشاره کرد. سیستم‌های حامل مبتنی بر نانوامولسیون باید با ماتریس غذایی سازگار باشند و حداقل تأثیر را بر ویژگی‌های ارگانولپتیک غذا مانند طعم، شکل ظاهری و بافت داشته باشند. بطورکلی، درون پوشانی ممکن است محافظت و تحویل پایدار ترکیبات فعال را در فرمولاسیون مواد غذایی ایجاد کند، پایداری این ترکیبات را در طول شرایط فرآوری و نگهداری بهبود بخشد و همچنین ممکن است با کمک به کنترل و حفظ رهایش ترکیبات طبیعی در ماتریس‌های محصولات غذایی تأثیر طولانی‌تری فراهم کند. در صنایع غذایی، نانوامولسیون‌ها برای درون پوشانی، تثبیت و تحویل ترکیباتی مانند طعم دهنده‌ها، اسیدهای

چرب امگا سه، ویتامین‌ها، مواد نگهدارنده و مواد مغذی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

نتیجه‌گیری: لذا این بررسی به‌طور خلاصه پیشرفت‌های اخیر در استفاده از نانوامولسیون ترکیبات زیست فعال را به‌عنوان یک افزودنی طبیعی در محصولات غذایی مختلف از جمله محصولات بر پایه روغن، محصولات لبنی، محصولات گوشتی و آبمیوه‌ها بیان می‌کند. براساس نتایج، کاربرد ترکیبات زیست فعال طبیعی در شکل نانوامولسیون در فرمولاسیون این محصولات غذایی منجر به بهبود فعالیت آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی، زیست فراهمی و ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای مواد غذایی غنی شده گردیده است.

استناد: حسن‌زاده، ح.، میناسیان، د.، قنبرزاده، ب. (۱٤۰۱). کاربرد نانوامولسیون‌ها در درون پوشانی ترکیبات زیست‌فعال: غنی‌سازی و افزایش ماندگاری مواد غذایی. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱٤ (۳)، ۳٤-۱.

DOI: 10.22069/FPPJ.2022.19912.1699

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

یک امولسیون متشکل از فاز آبی، فاز روغنی و امولسیفایر یا سورفاکتانت و گاهی کوسورفاکتانت است. از عوامل مؤثر بر اندازه ذرات امولسیون می‌توان به میزان انرژی مکانیکی اعمال شده (فشار هموژنایزر)، ویژگی‌های فاز روغنی (قطبیت، حلالیت در آب، کشش سطحی، شاخص شکست، ویسکوزیته، رفتار فازی و پایداری)، ترکیب فاز آبی، حضور الکل‌ها و نمک)، نوع و میزان ترکیب فعال سطحی (سورفاکتانت/ امولسیفایر) و استابیلایزر (در صورت استفاده)، شرایط آمیختن دو فاز (سرعت به‌هم زدن، ترتیب افزودن و سرعت افزودن طی مخلوط کردن) و شرایط محیطی (دما، pH و قدرت یونی) اشاره کرد [۱]. از امولسیون‌هایی با اندازه قطرات کمتر از ۲۰۰ نانومتر تحت عنوان نانوامولسیون یاد می‌شود [۲] به علت اندازه قطرات کوچکتر در نانوامولسیون‌ها (حدود ۲۰ تا ۲۰۰ نانومتر) نسبت به ماکروامولسیون‌ها (معمولاً بالای یک میکرومتر)، خواص این دو دسته امولسیون‌ها تفاوت‌های چشمگیری دارند که مهمترین آن‌ها شامل موارد زیر می‌باشند: (۱) سطح وسیع ایجاد شده توسط اندازه نانومتری آن‌ها ظرفیت بارگیری بالاتر و حلالیت بیشتر را فراهم می‌کند که منجر به افزایش زیست فراهمی ترکیبات دارای حلالیت پایین می‌شود؛ (۲) نانو امولسیون‌ها به دلیل قطر ذرات بسیار کوچکتر نسبت به طول موج نور ($d \ll \lambda$) شفاف‌تر هستند؛ و (۳) از پایداری بسیار بهتری نسبت به امولسیون‌های معمولی(ماکروامولسیون‌ها) در برابر انبوهش (فلوکولاسیون[1])، هم آمیختگی (کوالسنس[2]) و رونشینی (تفکیک گرانشی[3]) برخوردار هستند [۳]. در اندازه‌های زیر ۳۰۰ نانومتر، تفکیک گرانشی شدیداً کاهش می‌یابد، زیرا با کاهش ابعاد ذرات، محدوده‌ی عمل نیروهای جاذبه کاهش می‌یابد و محدوده‌ی عمل نیروهای دافعه‌ی فضایی به ابعاد ذرات بستگی ندارد. از طرف دیگر، کاهش اندازه ذرات باعث غلبه حرکات براونی بر نیروی گرانشی و افزایش ویسکوزیته و در نتیجه کاهش تفکیک گرانشی و انبوهش می‌گردد. البته، نانوامولسیون‌ها پایداری کمتری نسبت به رسیدگی استوالد[4] دارند. در رسیدگی استوالد، مولکول‌های روغن از قطرات کوچک به قطرات بزرگتر انتشار می‌یابند. در واقع با کاهش اندازهٔ قطرات، حلالیت روغن درون قطرات کروی افزایش می‌یابد، بنابراین غلظت روغن محلول در اطراف قطرات کوچکتر نسبت به قطرات درشت‌تر، بیشتر است. در نهایت، شیب غلظت سبب مهاجرت مولکول‌های روغن از اطراف قطرات ریز به سمت قطرات درشت‌تر می‌شود. نانوامولسیون‌ها هم همانند امولسیون‌های رایج، از نظر ترمودینامیکی ناپایدار بوده یعنی تغییرات انرژی آزاد گیبس واکنش تولید آن مثبت است زیرا به‌دلیل اثر هیدروفوبیکی، تشکیل و افزایش سطح بین فازهای روغن و آب مستلزم ورود انرژی به سامانه می‌باشد و به همین دلیل تمایل دارند در طول زمان، در اثر پدیده‌های فیزیکوشیمیایی مختلف، همانند تفکیک گرانشی، انبوهش، هم آمیختن و رسیدگی استوالد، به فازهای تشکیل دهنده خود تفکیک شوند. ولی آن‌ها از نظر سینتیکی نیمه‌پایدار هستند یعنی برای مدت زمان معین تعیین شده برای دوره ماندگاری، دو فاز نمی‌شوند. این حالت نیمه پایدار از طریق ایجاد موانع انرژی توسط سورفاکتانت‌ها و استابیلایزرها حاصل می‌شود [٤]. در نانوامولسیون‌های روغن در آب، ذرات دارای ساختار هسته- پوسته[5] می‌باشند و هسته آن ماده لیپوفیل و پوسته آن، ماده‌ی فعال سطحی می‌باشد.

1.Flocculation
2.Coalescence
3.Gravitational separation
4.Ostwald ripening
6.Core- Shell Type Structure

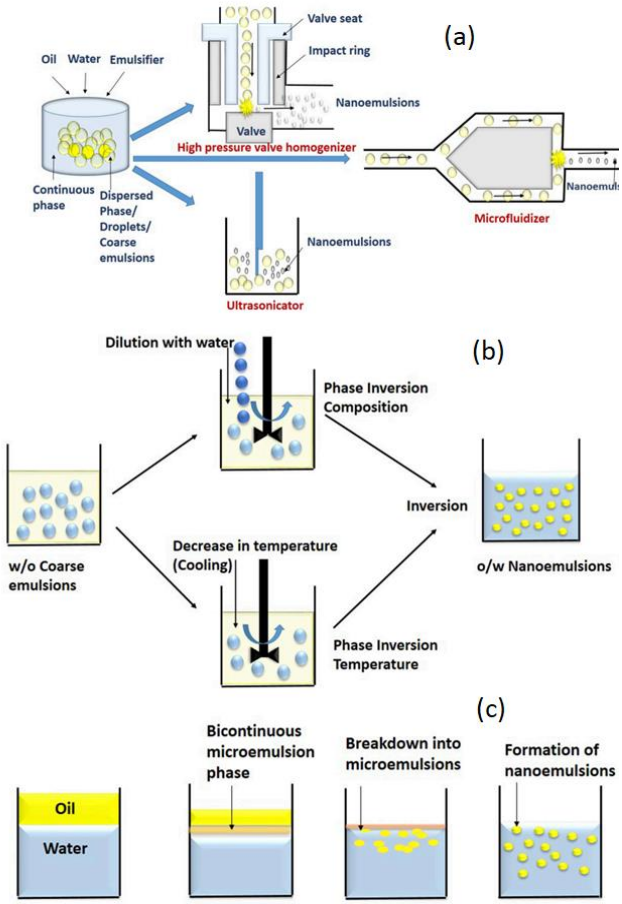
نانوامولسیون‌ها مدت‌هاست به‌دلیل قابلیت استفاده گسترده در داروها، سموم دفع آفات، مواد آرایشی، مواد غذایی، رنگ و کاربردهای محیطی محبوبیت یافته‌اند [۵]. سامانه‌های نانوامولسیونی در صنایع غذایی در فرمولاسیون مواد غذایی و نوشیدنی‌های دارای ترکیبات فراسودمند پوشش‌دار شده مانند کوآنزیم Q1، لیکوپن، لوتئین، بتاکاروتن، اسیدهای چرب امگا سه، ویتامین‌ها A، D_3، E، فیتواسترول‌ها و ایزوفلاون‌ها کاربرد دارند [۱]. بسته به حالت فازهای روغن و آب، دو نوع نانوامولسیون روغن/ آب (O/W) و آب/ روغن (W/O) می‌تواند تشکیل یابد. نانوامولسیون‌های O/W دارای اهمیت و کاربرد بیشتری هستند، زیرا اکثر مواد زیست فعال و فیتوشیمیایی[1] مانند اسانس‌های حاصل از گیاهان، اسیدهای چرب ضروری و امگا سه، کاروتنوئیدها، ویتامین‌های محلول در چربی، آنتی‌اکسیدان‌ها، فیتواسترول‌ها و کینین‌ها لیپوفیلی هستند [۶]. نانو امولسیون‌های روغن در آب (O/W) از بهترین سامانه های تحویل اسانس هستند [۷].

روش‌های آماده سازی نانو امولسیون‌ها: نانوامولسیون‌ها اگرچه از لحاظ سینتیکی پایدار می‌باشند ولی سامانه‌های غیرتعادلی بوده و نمی‌توانند خودبه‌خودی تشکیل شوند و تشکیل آن‌ها مستلزم ورود انرژی به سامانه است که این انرژی می‌تواند توسط ابزارهای مکانیکی (روش‌های پرانرژی)[2] یا انرژی شیمیایی داخلی اجزای تشکیل دهنده سامانه (روش‌های کم‌انرژی)[3] تأمین شود. فرمولاسیون و شرایط تولید، در هر دو روش اندازه ذرات و پایداری نانوامولسیون حاصل را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد [۸].

روش‌های امولسیون‌سازی پرانرژی: در روش‌های پرانرژی برای شکستن فازهای آب و روغن و تشکیل قطرات روغن از تجهیزات مکانیکی استفاده می‌شود که قادر به تولید نیروی گسیختگی شدید باشند. این سامانه‌ها کنترل بیشتری بر توزیع اندازه و ترکیب نانوامولسیون‌های حاصله دارند. تشکیل نانوامولسیون‌ها با استفاده از روش‌های پرانرژی، توسط مقدار انرژی اعمال شده و ترکیبات انتخاب شده (سورفاکتانت‌ها و ترکیبات عملگرا) کنترل می‌شود. انتخاب تجهیزات و شرایط مورد استفاده در روش پرانرژی به ویژگی‌های ماده‌ای که هموژنیزه می‌شود و نیز مشحصات امولسیون نهایی بستگی دارد. به‌طور کلی اندازه‌ی قطرات تولیدی در این روش‌ها، متأثر از دو پدیده پاره شدن قطرات و ادغام شدن است که به طور همزمان اتفاق می‌افتد. همانطور که در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است در روش‌های پرانرژی برای تولید قطرات ریز از دستگاه‌های مختلف مکانیکی شامل هموژنایزر فشار بالا، میکروفلودایزر، هموژنایزر اولتراسوند و سایر دستگاه‌های پرسرعت استفاده می‌شود [۹].

روش‌های کم‌انرژی تولید امولسیون: در روش‌های کم انرژی از انرژی شیمیایی داخلی تشکیل دهنده سامانه برای تولید نانوامولسیون استفاده می‌شود [۱۲]. در برخی روش‌های کم انرژی، نانوامولسیون در نتیجه وارونگی فاز در طی فرآیند امولسیفیکاسیون تولید می‌شود. به‌طورکلی، این کار در دمای ثابت با تغییر در ترکیب یا در ترکیب ثابت با تغییر در دما انجام می‌گیرد. فاکتورهایی مانند ترکیب سیستم، نسبت آب / امولسیفایر / روغن، ماهیت فاز آبی، ماهیت فاز روغن و سورفاکتانت، دما، زمان و میزان همزنی، اندازه قطرات را تعیین می‌کنند.

1. Phytochemical
2. High-energy Approaches
3. Low-energy Approaches



شکل۱- روش‌های تولید نانوامولسیون (a) روش‌های پرانرژی شامل هموژنایزر فشار بالا، میکروفلودایزر و هموژنایزر اولتراسوند (b) روش‌های کم‌انرژی شامل PIT و PIC و (c) روش امولسیون خودبه‌خودی [۱۰]

Figure 1-Nanoemulsion production methods (a) high-energy methods including high-pressure homogenizer, microfluidizer, and ultrasound homogenizer (b) low-energy methods including PIT and PIC and (c) spontaneous emulsion method

از مهم‌ترین روش‌های کم انرژی می‌توان به‌روش امولسیون سازی خود به خودی[1] (جوانه زدن)، تکنیک‌های نقطه معکوس امولسیونی[2]، روش وارونگی فاز دمایی[3]، روش وارونگی فاز ترکیبی (تغییر حجم فاز آبی یا افزودن نمک)[4] اشاره کرد، که در شکل ۱ و جدول ۱ به آن‌ها پرداخته شده است. روش‌های کم‌انرژی نسبت به روش‌های پرانرژی در تولید قطرات ریز کارآمدتر و مؤثرتر می‌باشند و تنها محدودیت آنها نوع روغن و امولسیفایر مورد استفاده می‌باشد. به طوری که در روش‌های کم انرژی، از پروتئین‌ها یا پلی ساکاریدها نمی‌توان به عنوان سورفاکتانت استفاده کرد و برای تشکیل نانوامولسیون‌ها نیز به دوز سورفاکتانت زیاد نیاز است. چنین محدودیت‌هایی باعث می‌شود که استفاده از روش‌های کم انرژی در شیمی مواد غذایی کمترین کاربرد را داشته باشد [۱۱].

1.Spontaneous Emulsification
2.Emulsion Inversion Point
3.Phase-Inversion Temperature
4.Phase Inversion Composition

جدول ۱- روش‌های پرانرژی و کم‌انرژی تولید نانوامولسیون [۱۰،۱۱]

Table 1- High-energy and low-energy methods of nanoemulsion production

	روش‌های تهیه نانوامولسیون Preparation methods of nanoemulsion	ویژگی‌ها Characteristics	مزایا و معایب Advantages and Disadvantages	کاربرد Application
پرانرژی	هموژنایزر فشار بالا	برای تولید نانوامولسیون با اندازه قطرات مورد نیاز به فشار بسیار بالا نیاز دارند. قطرات بزرگ را با ترکیبی از نیروهای مخرب شدید مانند تنش برشی، کاویتاسیون و شرایط جریان متلاطم که بر روی آنها اثر می‌گذارند، به قطرات کوچک‌تر می‌شکنند	سهولت کاربرد، مقیاس‌پذیری، تکرارپذیری و توان عملیاتی بالا، تکنیک هموژنایزر فشار بالا را برای تولید نانوامولسیون‌ها در صنایع غذایی بسیار مناسب می‌سازد.	نانوامولسیون‌های β – کاروتن، روغن آویشن و کورکومین
	میکروفلودایزر	یک میکروفلودایزر تقریباً از نظر طراحی شبیه به هموژنایزر فشار بالا با تفاوت جزئی در جریان کانال‌های امولسیونی است.	محدودیت‌های تکنیک‌های میکروفلودایزر افزایش اندازه قطرات در نتیجه ادغام به دلیل زمان طولانی‌تر درگیر در امولسیون‌سازی و استفاده از فشار بالا باعث افزایش دمای نانوامولسیون‌ها می‌شود. با این حال، در مقایسه با سایر روش‌های همگن‌سازی، میکروفلودایزر منجر به تشکیل قطرات ریز با اندازه یکنواخت می‌شود.	نانوامولسیون ترکیبات مختلف زیست فعال، بتاکاروتن، روغن ماهی ،آویشن، بادرنجبویه و روغن مریم گلی
	هموژنایزر اولتراسوند	در روش‌های اولتراسوند، امواج اولتراسونیک با شدت بالا (فرکانس بیشتر از ۲۰ کیلوهرتز) امولسیون‌هایی با اندازه ذرات نانو (۷۰ نانومتر) تشکیل می‌دهند. اندازه ذرات با افزایش زمان اولتراسوند، سطح توان و غلظت امولسیفایر کاهش می‌یابد.	نانوامولسیون‌های تهیه شده توسط فراصوت در مقایسه با روش هموژنیزاسیون فشار بالا دارای خواص فیزیکی خوب و اندازه قطرات کوچک‌تر هستند.	نانوامولسیون اسانس آویشن
کم‌انرژی	امولسیون خودبه‌خودی	روش‌های امولسیون‌سازی خود به خودی شامل تشکیل خودبه‌خود نانوامولسیون بر روی مخلوط دو مایع (فاز آلی و فاز آبی) در دمای خاص به دلیل حرکت یک جزء قابل امتزاج با آب از فاز آلی به فاز آبی است.	عیب این روش استفاده از سورفکتانت‌های سنتزی بالا در مقیاس بزرگ است که از نظر اقتصادی امکان پذیر نیست و دارای مسائل نظارتی و حسی در صنایع غذایی است.	نانوامولسیون ویتامین E و D و روغن ماهی
	تکنیک‌های نقطه معکوس امولسیونی	در این روش یک ماکروامولسیون W/O در دمای اتاق تهیه و به آرامی با آب رقیق می‌شود. در طی این فرآیند رقیق سازی، سیستم از یک نقطه وارونگی عبور می‌کند که در آن تبدیل از امولسیون W/O به O/W رخ می‌دهد.	در این نقطه وارونگی، کشش سطحی روغن–آب بسیار کم است و بنابراین قطرات کوچکی می توانند بدون هدررفت انرژی قابل توجهی تشکیل شوند.	
	وارونگی فاز دمایی (PIT) و وارونگی فاز ترکیبی (PIC)	روش‌های وارونگی فاز از انرژی شیمیایی آزاد شده در نتیجه انتقال فاز که در طول فرآیند امولسیون‌سازی رخ می‌دهد، استفاده می‌کند. نانوامولسیون‌ها با ایجاد وارونگی فاز در امولسیون از فرم W/O به O/W یا برعکس با تغییر دما یا ترکیب تشکیل شده‌اند.	این تکنیک هزینه پایینی دارد، نیازی به استفاده از حلال‌های آلی ندارد و پایداری ترمودینامیکی بالایی دارد، اما استفاده از آن برای ترکیبات بسیار آبگریز دشوار است	نانوامولسیون روغن دارچین، ویتامین E

کاربرد نانوامولسیون‌ها در محصولات غذایی مختلف: یک غذای کاربردی از ترکیباتی تشکیل شده است که از نظر بیولوژیکی و فیزیولوژیکی فعال هستند که مزایای سلامتی فراتر از ظرفیت‌های تغذیه‌ای اولیه را به همراه دارد. اجزای تشکیل‌دهنده چنین مواد غذایی که مسئول عملکرد آن‌ها هستند به‌طورکلی "ترکیبات زیست‌فعال[1]" نامیده می‌شوند [۱۳]. ترکیبات زیست فعال به دلیل فعالیت‌های بیولوژیکی و عملکردی مختلف از جمله فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، ضد دیابتی، ضد سرطانی، ضد ویروسی و ضد توموری، مورد توجه زیادی هستند. در نتیجه از بدن انسان در برابر سطوح بالای رادیکال‌های آزاد و گونه‌های اکسیژن فعال محافظت می‌کند که ممکن است به راحتی با مولکول‌های دیگر واکنش داده و در نتیجه به سلول آسیب برسانند [۱٤ و ۱۵].

ترکیبات فنلی رایج‌ترین ترکیبات گیاهی هستند که از غذا به دست می‌آیند. ترکیبات فنلی محصولات متابولیسم ثانویه گیاهان هستند. ترکیبات فنلی را می‌توان با توجه به ساختار شیمیایی به زیرگروههای مختلفی طبقه‌بندی کرد. اما گروه‌های اصلی عبارتند از اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها، تانن‌ها، کاروتنوئیدها، استیلبن‌ها و لیگنان‌ها با ساختارهایی از یک مولکول فنولی ساده تا یک پلیمر پیچیده با وزن مولکولی بالا [۱۳]. از یک طرف مصرف ترکیبات زیست فعال در غذاهای فراسودمند به دلیل نقش‌های مفیدی که در سلامت انسان ایفا می‌کند، توجه زیادی از سوی بسیاری از محققین به خود جلب کرده است و از طرف دیگر حلالیت، پایداری و زیست فراهمی پایین آن‌ها از محدودیت‌های فناوری تولید غذاهای فراسودمند می‌باشند. بیشتر اجزای تشکیل دهنده مواد غذایی فعال در معرض تخریب در هنگام فرآوری مواد غذایی و تخریب اکسایشی در هنگام نگهداری هستند [۱۰]. برخی از ترکیبات زیست فعال حلالیت کمی در شیره گوارشی یا غشا سلولی دارند که زیست فراهمی آن‌ها را کاهش می‌دهد؛ درحالی که برخی از آن‌ها فرار بوده و به شرایط فرآوری حساس هستند. با استفاده از نانوامولسیون‌ها برای محصور سازی ترکیبات زیست فعال، چالش کاربرد آن‌ها درفرمولاسیون‌های مواد غذایی مرتفع می‌شود. درون پوشانی ترکیبات زیست فعال لیپوفیل در فاز روغن یا امولسیفایر، ثبات، زیست فراهمی و میزان رهایش کنترل شده را بهبود می‌دهد [۱۰]. برای ترکیبات فعال آبدوست می‌توان از امولسیون‌های دوگانه آب در روغن در آب استفاده کرد. سامانه‌های تحویل بر پایه نانوامولسیون باید با ماتریس غذایی سازگار باشد و حداقل تأثیر را بر ویژگی‌های ارگانولپتیک غذا مانند طعم، شکل ظاهری و بافت آن داشته باشند. درون پوشانی ترکیب زیست فعال می‌تواند آن‌ها را از شرایط فرآوری محافظت کرده و از تخریب آن در برابر دما، نور، pH و شرایط اکسایشی در هنگام نگهداری جلوگیری کند. استفاده از نانوامولسیون‌ها برای مواد غذایی مستلزم این است که این روش برای تولید در مقیاس صنعتی از نظر اقتصادی امکان پذیر باشد [۱٦ و ۱۷]. یک دسته از ترکیبات مناسب برای درون پوشانی در نانوامولسیون‌ها، اسانس‌های گیاهی هستند. امروزه با توجه به عوارض جانبی نگهدارنده‌های شیمیایی بر سلامت انسان، کاربرد اسانس‌ها در غذاها به‌عنوان نگهدارنده (ترکیبات طبیعی بی خطر) پتانسیل زیادی برای تولید غذاهای فاقد مواد افزودنی مصنوعی ایجاد می‌کند. با این حال استفاده از اسانس‌های ضدمیکروبی در غذاها هنوز هم با اشکالاتی از جمله حلالیت کم، جنبه‌های سم‌شناسی و اقتصادی همراه است. علاوه بر این، استفاده از

1.Bioactive compounds

اسانس در فرمولاسیون غذایی به‌دلیل بو، عطر و طعم شدید در برخی از محصولات غذایی به‌ویژه در دوزهای بالا ایجاد مشکل می‌کند. لذا بررسی سامانه‌های تحویل جدید و رهایش کنترل شده اسانس‌ها به شدت مورد نیاز است که در این میان نانومولسیون‌ها از جایگاه ممتازی برخوردار هستند [۱۸]. بر طبق گزارشات نانومولسیون‌های مبتنی بر اسانس دارای فعالیت ضدمیکروبی در برابر باکتری‌های مثبت و منفی، کپک، مخمر، قارچ‌ها، ویروس‌ها و اسپورها بدون افزودن هیچ گونه افزودنی ضد میکروبی مصنوعی یا طبیعی هستند [۱۹]. با توجه به مزایای نانومولسیون‌ها در این پژوهش سعی بر آن شد تا تأثیر نانومولسیون ترکیبات زیست فعال بر انواع ویژگی‌های محصولات مختلف غذایی را مورد بررسی قرار دهیم.

فرمولاسیون محصولات بر پایه روغن

روغن خوراکی: روغن خوراکی، روغن پخت و پز مناسب برای مصرف انسان است. روغن خوراکی شامل انواع مختلف روغن حاصل از منابع گیاهی مانند نارگیل، نخل، زیتون، ذرت، سویا، بادام زمینی، پنبه دانه، گلرنگ، آفتابگردان، کلزا و کنجد است. اکثریت روغن‌های خوراکی با داشتن مقدار فراوانی اسیدهای چرب اشباع نشده بسیار در معرض تخریب اکسایشی هستند [۲۰]. اکسیداسیون لیپیدها در روغن خوراکی در زمان فرآوری، حمل و نقل، نگهداری و آماده سازی نهایی، یکی از معضلات مهم صنعت روغن‌های خوراکی است. اکسیداسیون روغن‌های خوراکی را می‌توان با افزودن آنتی اکسیدان‌های خاص مهار کرد و یا به تأخیر انداخت [۲۱]. آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی به‌دلیل هزینه پایین و قدرت آنتی اکسیداسیونی بالا در صنعت روغن خوراکی به عنوان یک افزودنی غذایی جهت مهار تخریب روغن خوراکی استفاده می‌شوند. اما در دوز بالا، اثرات مخربی بر سلامتی مانند اختلال در لخته شدن خون، جهش و ایجاد تومورها دارند. لذا آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به‌دلیل داشتن مزایای بالقوه سلامتی و ایمنی، جایگزین مناسبی برای آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی در نظر گرفته می‌شوند. مشخص شده است که اکثر آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در مقایسه با ترکیبات موجود در روغن‌های خوراکی مختلف، از ثبات حرارتی و آنتی‌اکسیدانی بیشتری برخوردار هستند [۲۲]. با این حال، آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به شکل آزاد در معرض تغییرات شیمیایی ناشی از عواملی مانند دما، اکسیژن، pH یا نور هستند که باعث محدود شدن کاربرد آن‌ها در روغن خوراکی می‌شود [۲۳]. بنابراین افزودن مستقیم آنتی‌اکسیدان طبیعی به روغن باعث از بین رفتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی آن به‌ویژه در هنگام حرارت دادن می‌شود. در سال‌های اخیر، روش درون‌پوشانی آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی، به ویژه درون‌پوشانی مبتنی بر نانومولسیون برای جلوگیری از تخریب اکسایشی روغن خوراکی مورد توجه قرار گرفته است. در این رابطه، نانومولسیون به موارد زیر کمک می‌کند (۱) مهار تخریب ترکیبات در اثر گرما، اکسیژن و نور، (۲) اجازه رهایش کنترل شده یا تدریجی آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در محل مورد نظر و زمان تعیین شده و (۳) پوشاندن بو و طعم نامطبوع آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی (مانند ترکیبات فنلی) [۲٤].

علی‌رغم داشتن مزایای ذکر شده، تحقیقات در مورد استفاده از آنتی‌اکسیدان طبیعی نانوانکپسوله برای جلوگیری از تخریب اکسایشی روغن خوراکی بسیار محدود است و فقط چند اثر منتشر شده وجود دارد که روش درون‌پوشانی مبتنی بر نانومولسیون را برای جلوگیری از تخریب روغن خوراکی بررسی کرده‌اند. در مطالعه‌ای حسین نیا و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی استفاده از نانومولسیون پسته کوهی (*Pistacia*

khinjuk) در یک پوشش بیوپلیمری صمغ دانه بالنگو و شنبلیله و ترکیب آن‌ها (۱: ۱) برای بهبود ماندگاری روغن آفتابگردان پرداختند. طبق نتایج بیشترین کارایی ریزپوشانی (٦٣/٤٦درصد) در نانوامولسیون بالنگو مشاهده شد. آن‌ها گزارش کردند که روغن‌های حاوی نانوامولسیون بیشترین پایداری را در حین نگهداری داشتند و میزان اکسیداسیون در روغن‌های حاوی آنتی اکسیدان‌های مصنوعی (TBHQ) و طبیعی کندتر از نمونه شاهد بود [۲۵]. در مطالعه دیگری اثر آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی آزاد و درون پوشانی شده در پایداری اکسایشی روغن‌های خوراکی (روغن سویا، روغن آفتابگردان، روغن کانولا، روغن زیتون و...) توسط شارما و همکاران (۲۰۱۹) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اکسیداسیون حرارتی روغن را می‌توان با روش‌های درون‌پوشانی کنترل کرد و درون پوشانی مبتنی بر نانوامولسیون در درون‌پوشانی آنتی اکسیدان طبیعی و کنترل رهایش آن در روغن خوراکی در حین ذخیره سازی کارآمد بود و در نتیجه باعث ثبات اکسایشی آن شد [۲٤]. درون پوشانی ترکیبات زیست فعال با امولسیفایرهای غیر یونی به صورت نانوامولسیون‌های آب در روغن (W/O) یا روغن در آب (O/W) می‌تواند محافظت از ترکیبات و برخی ویژگی‌ها مانند فعالیت آنتی‌اکسیدانی، حلالیت و پایداری را بهبود بخشد. امولسیفیکاسیون یک امولسیون W/O در یک فاز آبی حاوی امولسیفایرهای آبدوست می‌تواند منجر به تولید امولسیون‌های چندگانه آب در روغن در آب (W/O/W) شود. از پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها می‌توان در تولید امولسیون‌های W/O/W استفاده کرد که به نوبه خود باعث افزایش ویژگی‌های عملکردی ترکیبات زیست فعال و بهبود رهایش کنترل شده می‌شود [۲٦]. امولسیوهای چندگانه قادرند هم زمان ترکیبات آبدوست (مانند عصاره‌ها) و آبگریز (مانند اسانس‌ها) را درون پوشانی کنند. در رابطه با این نوع نانوامولسیون‌ها، یزدانبخش و همکاران (۲۰۲۰) در ارزیابی ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی عصاره گلپر (*Heracleum Lasiopetalum*) در نانو امولسیون چند گانه با پوشش بیوپلیمر برای کنترل پایداری اکسایشی روغن آفتابگردان نشان دادند فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش غلظت عصاره افزایش می‌یابد. طبق نتایج گزارش شده، روغن آفتابگردان حاوی عصاره گلپر درون‌پوشانی شده در پوشش‌های بیوپلیمری کنسانتره پروتئین آب پنیر[1] و صمغ دانه شاهی مقادیر پراکسید، تیوباربیتوریک اسید و p –آنیزیدین کمتری را در مقایسه با روغن آفتابگردان حاوی TBHQ و شاهد نشان دادند. البته پوشش بیوپلیمری WPC دارای پتانسیل بالاتری برای درون پوشانی عصاره گلپر بود و همچنین WPI می‌تواند به عنوان یک آنتی‌اکسیدان طبیعی استفاده شود [۲۷].

محمدی و همکاران (۲۰۱۵) فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ زیتون[2] محصور شده در نانو امولسیون W/Oو امولسیون دوگانه W/O/W در روغن سویا را ارزیابی کردند. OLE نانوامولسیون شده بهتر از عصاره برگ زیتون آزاد قادر به کنترل مقدار پراکسید بود، اما به‌دلیل محصور شدن ترکیبات فنلی در قطرات پراکنده امولسیون، پایداری حرارتی عصاره برگ زیتون درون‌پوشانی شده کمتر بود. به طور کلی با افزایش حلالیت و رهایش کنترل شده ترکیبات فنلی برگ زیتون از طریق درون‌پوشانی نانوامولسیونی، فعالیت آنتی اکسیدانی بالاتری حاصل شد [۲۸]. با توجه به مطالب ذکر شده، تحقیقات بیشتر می‌تواند در مورد مقایسه اثربخشی درون‌پوشانی مبتنی بر نانوامولسیون برای کاربرد آنتی‌اکسیدان‌ها در روغن‌های خوراکی انجام شود.

1.Whey Protein Concentrate
2.Olive leave extract

سس مایونز: سس مایونز یک امولسیون روغن در آب است و برای بهبود طعم و مزه برخی از محصولات غذایی از جمله سالادها و غذاهای سریع مصرف می‌شود. با توجه به اجزای فرمولاسیون آن، به‌ویژه زرده تخم مرغ، خطر آلودگی این محصول با عوامل بیماری‌زای میکروبی زیاد است. از طرف دیگر، به علت مقدار زیاد روغن مایع در فرمولاسیون، به فساد شیمیایی اکسایشی بسیار حساس است. از آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی (BHA، BHT و EDTA) (و مواد نگهدارنده شیمیایی (اسید سوربیک یا بنزوئیک) برای جلوگیری از فساد اکسایشی و میکروبی در سس مایونز استفاده می‌شود [۲۹]. امروزه می‌توان از برخی از ادویه‌ها و اسانس‌های گیاهان به عنوان عوامل ضد میکروبی قوی علیه عوامل بیماری‌زا استفاده کرد. اسانس‌ها، مایعات آبگریز تغلیظ شده حاوی آروماهای فرار هستند که معمولاً توسط تقطیر به دست می‌آیند. مهمترین ترکیبات روغن‌های اسانسی، ترپن‌ها و ترپنوئیدها هستند. عصاره‌های الکلی برخلاف اسانس‌ها بیشتر حاوی ترکیبات فنولی هستند. ترپن‌ها ترکیبات هیدروکربنی هستند و از ایزوپرن ساخته می‌شوند. ترپنوئیدها که به آن‌ها ایزوپرنوئید[1]هم گفته می‌شود، معمولاً از اکسیداسیون ترپن‌ها ایجاد می‌شوند. مکانیسم ضدمیکروبی اسانس‌های گیاهان به‌دلیل ترکیبات ترپنی و فنولی آنها است و کارواکرول، اوژنول، تیمول، ترکیبات گوگرددار از مهم‌ترین ترکیبات ضد میکروبی موجود در آنها هستند. این ترکیبات، میکروارگانیسم‌ها را از طریق مختلف مانند تخریب غشا سیتوپلاسمی و بهم زدن سیستم عبور و مرور مواد، اختلال در کار آنزیم‌های تنفسی و نفوذ در سلول و اختلال در کار ماده ژنتیکی تحت تأثیر قرار می‌دهند. با وجود فعالیت ضدمیکروبی اسانس‌ها، اثر ترکیبات فرار آن‌ها معمولاً به دلیل حلالیت کم در آب و اتصالات آبگریز با ترکیبات غذایی مانند چربی و پروتئین کاهش می‌یابد و بنابراین به دلیل ماهیت روغنی، اسانس‌های گیاهی ممکن است بر میکروارگانیسم‌هایی که در فاز آبی مواد غذایی هستند تأثیر نگذارد. علاوه بر این، حداقل غلظت مورد نیاز برای اثرات ضد میکروبی اسانس در مواد غذایی بالاتر از محیط کشت است که ممکن است باعث ایجاد تغییرات ناخوشایند در طعم و بوی غذا شود [۳۰]. بنابراین روش‌های مختلفی برای بهبود ثبات، رهایش کنترل شده و کاهش اثرات سوء اسانس در مواد غذایی ایجاد شده است. در حال حاضر درون پوشانی اسانس‌ها به صورت نانوامولسیون، یک روش عملی برای انتقال اجزای آبگریز به فازهای آبی است. نانوامولسیون اسانس‌ها می‌تواند سطح تماس اسانس را با باکتری‌ها افزایش داده و به طور مؤثری رهایش اسانس‌ها را در یک ماتریس غذایی کنترل کند [۳۱].

منصوری و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای پایداری و فعالیت ضد باکتریایی نانوامولسیون اسانس آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) به عنوان یک نگهدارنده در سس مایونز را بررسی کردند. گرچه در مقایسه با نانوامولسیون بهینه، اسانس خالص اثرات ضد باکتریایی بیشتری نشان داد، اما نانوامولسیون بهینه و بنزوات سدیم اثرات ضدباکتریایی یکسانی بر روی باکتری‌های آزمایش شده در سس مایونز داشتند. نانوامولسیون بهینه، به‌دلیل ویژگی‌های حسی مطلوب، ماندگاری طولانی مدت و رهایش آهسته ترکیبات فرار، می‌تواند جایگزین مناسبی برای مواد نگهدارنده مصنوعی باشد. در ارزیابی حسی، نانو امولسیون بهینه نسبت به اسانس خالص موجود در سس مایونز به طور قابل توجهی امتیازات حسی (طعم، ظاهر و احساس دهانی) بالاتری را به دست آورد. علاوه بر این، ویژگی‌های ارگانولپتیک نانوامولسیون بهینه مطلوب‌تر از اسانس خالص بود [۳۰]. دادپور و یزدان

1. Iisoprenoid

پناه (۲۰۲۰) سس مایونز کم چرب با استفاده از نانوامولسیون عصاره میوه سپستان را فرموله کردند. آن‌ها گزارش دادند که در سطوح چربی کاهش یافته به میزان ۲۵ درصد و ۵۰ درصد، با افزودن نانوامولسیون عصاره در دو سطح ۱۰۰ و ۴۰۰ پی پی ام نتایج مطلوبی مشاهده گردید. بنابراین یک جایگزین مناسب در فرمولاسیون سس مایونز می‌باشد و چون قادر به حفظ آب در فاز پیوسته است، بنابراین نقش مؤثری در ثبات و پایداری سس مایونز دارد [۳۱]. مطالعات در مورد استفاده از ترکیبات نانوامولسیون شده در سس مایونز به‌عنوان یک افزودنی طبیعی (ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی) بسیار محدود است. بنابراین لازم است تحقیقات بیشتری برای ارزیابی تأثیر ترکیبات طبیعی نانو امولسیون شده در مورد بهبود ماندگاری، خواص تغذیه‌ای و عملکردی انواع سس‌ها انجام شود.

جدول ۲- خلاصه‌ای از کاربرد نانوامولسیون‌ها در غنی سازی و افزایش ماندگاری محصولات غذایی مختلف

Table 2-A summary of the application of nanoemulsions in enriching and shelf life extension of different food products

محصولات غذایی Food Products	نانوامولسیون‌های مورد استفاده Nanoemulsions used	یافته‌های کلیدی Key findings	رفرنس Reference
روغن آفتابگردان	نانوامولسیون عصاره پسته کوهی (*Pistacia khinjuk*) در پوشش بیوپلیمری صمغ دانه‌های بالنگو و شنبلیله و ترکیب آنها (۱:۱)	بیشترین کارایی درون پوشانی در نانوامولسیون بالنگو مشاهده شد. روغن‌های حاوی نانوامولسیون‌ها در طول نگهداری پایدارتر بودند. مقادیر پراکسید و p-آنیزیدین در روغن حاوی نانو امولسیون عصاره پسته کوهی کمتر از روغن حاوی آنتی‌اکسیدان مصنوعی (TBHQ) و نمونه شاهد بود.	۲۵
روغن آفتابگردان	عصاره گلپر (*Heracleum Lasiopetalum*) در نانو امولسیون چندگانه با پوشش بیوپلیمری	مقادیر PV، TBA و P- آنیزیدین در نمونه حاوی نانوامولسیون نسبت به نمونه شاهد و نمونه حاوی آنتی اکسیدان TBHQ در سطوح پایین‌تری بودند.	۲۷
روغن سویا	عصاره برگ زیتون (OLE) محصور شده در نانوامولسیون W/O و امولسیون چندگانه W/O/W	روغن حاوی امولسیون چندگانه OLE کمترین مقدار پراکسید را در طول زمان نگهداری نشان داد. OLE نانوامولسیون شده در مقایسه با OLE آزاد به طور موثری مقدار تیوباربیتوریک اسید و پراکسید روغن را در طول ذخیره سازی کنترل می کند. روغن حاوی OLE نانوامولسیون دارای مقادیر اسید تیوباربیتوریک پایین مشابه روغن حاوی TBHQ بود.	۲۸
سس مایونز	نانوامولسیون اسانس آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.)	در مقایسه با نانوامولسیون بهینه، اسانس خالص اثرات ضد باکتریایی بیشتری نشان داد. اثر ضدباکتریایی بنزوات سدیم و نانوامولسیون بهین در سس مایونز در طول ۲۴ ساعت تقریباً برابر بود. نانوامولسیون بهینه در مقایسه با اسانس خالص موجود در سس مایونز امتیازات حسی بالاتری به دست آورد. ویژگی‌های ارگانولپتیک نانوامولسیون بهینه مطلوب‌تر از اسانس خالص بود.	۳۰
سس مایونز کم‌چرب	نانوامولسیون عصاره میوه سپستان	افزودن نانوامولسیون عصاره میوه سپستان در دو سطح ۱۰۰ و ۴۰۰ پی پی ام پتانسیل خوبی برای استفاده در فرمولاسیون سس مایونز کم چرب به عنوان جایگزین چربی دارد.	۳۱
شیر	پودر نانو امولسیون عصاره زردچوبه	محتوای کورکومین نانوکپسول‌ها در شیر در طول ۲۱ روز نگهداری	۳۳

	(TE-NEP)	ثابت ماند. افزودن TE-NEP منجر به زرد شدن شیر شد، اگرچه عطر آن به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار نگرفت. در بررسی رهایش در سیستم مدل معده و روده، کمتر از ۱۰٪ از مواد محصور شده در شرایط شبیه سازی شده معده منتشر شدند، در حالی که تقریبا ۷۰٪ در شرایط شبیه سازی شده روده آزاد شدند	
شیر	نانوامولسیون اسانس تیمول با ترکیب امولسیفایر ژلاتین A یا B و لسیتین	در شیر نانوامولسیون‌ها به طور کلی مؤثرتر از تیمول آزاد بودند. تیمول نانوامولسیون شده در مقایسه با اثر باکتریواستاتیک تیمول آزاد، به تدریج پس از ٤۸ ساعت *لیستریا مونوسیتوژنز* را کاهش داد. در شیر بدون چربی، نانوامولسیون پایدار شده با ژلاتین A به طور کلی در برابر *لیستریا مونوسیتوژنز* موثرتر از ژلاتین B بود. نانوامولسیون پایدار شده با ژلاتین B در کاهش اشریشیا کلی موثرتر از نانوامولسیون پایدار شده با ژلاتین A بود.	۳٤
شیر	نانوامولسیون‌های کورکومین (Cur-NEs)	شیر غنی‌شده با Cur-NEs اکسیداسیون لیپید کمتری را نسبت به شیر شاهد (غنی نشده) و شیر حاوی نانوامولسیون‌های بدون کورکومین نشان داد.	۳۵
ماست	نانوامولسیون روغن بادام شیرین و کنجد	pH و آب اندازی ماست با ترکیب نانوامولسیون روغن بادام شیرین و کنجد حاوی ۰/۵ درصد امولسیفایر کاهش یافت، در حالی که اسیدیته، تشکیل مالون دی آلدئید و فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش یافت. استفاده از نانوامولسیون‌های روغنی تأثیر قابل‌توجهی بر تعداد *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* نداشت، اما مقدار *Streptococcus salivarius subsp thermophilus* را کاهش داد. با افزودن روغن کنجد و بادام شیرین، ویسکوزیته ماست کاهش اما مدول الاستیک و مدول ویسکوز افزایش یافت. بالاترین امتیاز حسی طی ۱۵ روز نگهداری مربوط به ماست غنی شده با روغن کنجد بود.	۳۷
ماست	نانوامولسیون روغن ماهی و روغن زیتون و پرتقال و همچنین آلفا توکوفرول	ماست غنی‌شده با مخلوط روغن زیتون/ ماهی نانوامولسیون شده (NFO) ویژگی‌های نزدیک‌تری به ماست معمولی داشت. ماست غنی‌شده با نانوامولسیون مبتنی بر روغن ماهی دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نسبتاً خوبی و ویژگی‌های حسی قابل قبول و پایداری اکسیدایشی بالایی بود.	۳۸
ماست	نانوامولسیون روغن ماهی/گاما اوریزانول	افزودن نانوامولسیون روغن ماهی/گاما اوریزانول منجر به کاهش قابل توجهی در اسیدیته و آب اندازی ماست شد. ماست با نانوامولسیون دارای مقادیر پراکسید به طور قابل توجهی پایین‌تر و حفظ محتوای بالاتر ایکوزاپنتانوئیک اسید و دوکوزاهگزانوئیک اسید در مقایسه با ماست حاوی روغن ماهی/گاما اوریزانول خالص بود. ماست با نانوامولسیون روغن ماهی/گاما اوریزانول دارای امتیازات حسی نزدیک‌تری به ماست معمولی و ویسکوزیته کمتری نسبت به ماست شاهد بود.	۳۹
ماست منجمد	نانوامولسیون حاوی روغن سبوس برنج بنفش (NPRBO)	ماست منجمد ساده (PFY)، ماست منجمد با کازئینات سدیم (FYSC) و ماست منجمد حاوی NPRBO (FYNRO) سفتی	٤۰

		مشابهی داشتند. ویسکوزیته ظاهری ماست FYNRO مشابه PFY بود. افزودن NPRBO مقاومت ذوب FY را افزایش داد. افزودن NPRBO بر بقای LAB در طول ٦ هفته نگهداری منجمد تأثیری نداشت. FYNRO مقدار پراکسید بالاتری نسبت به سایر ماست‌ها در پایان دوره ذخیره سازی داشتند. تفاوت‌های غیر معنی داری در TBARS در تیمارها برای تمام نمونه‌های FY در طول ذخیره سازی مشاهده شد.	
دوغ	نانوامولسیون عصاره گزنه (SNE)	دوغ غنی شده با ۱۰ درصد نانوامولسیون حاوی SNE بالاترین TPC، DPPH، FRAP، pH و پایداری فاز و همچنین کمترین اسیدیته را نشان داد. در مقایسه با دوغ غنی شده با عصاره آزاد، نمونه‌های غنی شده با نانوامولسیون امتیازات حسی نزدیک تری به دوغ تیمار نشده داشتند.	٤١
پنیر کم‌چرب برش یافته	پوشش‌های خوراکی آلژیناتی مبتنی بر نانوامولسیون حاوی اسانس پونه کوهی (OEO) و فیبر ماندارین	پوشش‌های خوراکی با حداقل ۲ درصد وزنی بر وزن OEO، پایداری میکروبی قطعات پنیر را بهبود بخشید، در از بین بردن پاتوژن‌های خارجی مانند استافیلوکوکوس اورئوس مؤثر بود و ظاهر پنیر را در طول زمان حفظ کرد. قطعات پنیر پوشش داده شده حاوی ۲/۵٪ (وزنی/وزنی)OEO از رشد باکتری‌های سایکروتروف، کپک‌ها و مخمرها در طول نگهداری جلوگیری کرد.	٤٥
پنیر Minas Padrão	نانوامولسیون اسانس پونه کوهی (*Origanum vulgare*)	نانوامولسیون اسانس پونه کوهی با فعالیت ضد قارچی از رشد قارچ‌های *Fusarium sp*، *Cladosporium sp* و *Penicillium sp* جلوگیری کرد.	٤٦
بستنی	نانوامولسیون روغن *Nigella sativa* (NSO) با استفاده از توئین ۲۰ در سه نسبت (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) امولسیفایرها	نانوامولسیون NSO خواص رئولوژیکی بستنی و مقبولیت آن توسط مصرف کننده را بهبود بخشید. در ارزیابی حسی بستنی غنی شده با نانوامولسیون ۵ درصد مقبولیت بیشتری بدست آورد.	٤٨
بستنی	نانوامولسیون کورکومین	در ارزیابی حسی تفاوت معنی داری بین بستنی شاهد و بستنی تهیه شده با نانوامولسیون کورکومین مشاهده نشد. کارایی درون پوشانی کورکومین در بستنی ۹۳/۷ درصد بود که نشان دهنده مقاومت آن در شرایط فرآوری می‌باشد.	٥٣
فیله گوشت گاو	پوشش آلژینات حاوی اسانس *Zataria multiflora Boiss* (ZMEO)	مهار رشد اشریشیاکلی در فیله‌های گوشت گاو در نمونه‌های تیمار شده با نانوامولسیون بیشتر از ماکروامولسیون ها بود. کمترین رشد باکتری در نمونه‌های پوشش داده شده با نانوامولسیون در پایان ذخیره سازی مشاهده شد.	٥٧
گوشت بوقلمون	پوشش زیست فعال غنی شده با نانو امولسیون اسانس خردل (*Brassica juncea*)	pH، TN، TR، مخمرها، کپک‌ها، کل باکتری‌های مزوفیل و سایکروتروف نمونه‌های پوشش حاوی نانوامولسیون اسانس خردل همراه با نمونه‌های ژلاتین/هیدروکسی پروپیل- β -سیکلودکسترین (FNME) به‌طور معنی‌داری کمتر از پارامترهای مشابه سایر نمونه‌ها در طول زمان نگهداری بود. استفاده از FNME در مقایسه با نانوامولسیون اسانس خردل	٥٨

		(NME) ویژگی های حسی به ویژه بو و مقبولیت را بهبود بخشید. پوشش FNME در بهبود کیفیت کلی موثر بود و ماندگاری گوشت بوقلمون را در طول نگهداری سرد افزایش داد.	
گوشت بوقلمون	پوشش خوراکی زیست فعال بر پایه ژلاتین/هیدروکسی پروپیل بتا سیکلودکسترین حاوی ۱/۵ درصد (V/V) نانوامولسیون اسانس گزنه	در نمونه‌های گوشت بوقلمون تیمار شده با نانوامولسیون اسانس گزنه، مقادیر پایین‌تری از افت وزن، نیتروژن فرار کل و تعداد کمتری از باکتری‌های مزوفیل، سرمادوست، کپک‌ها و مخمرها در مقایسه با شاهد در طول نگهداری مشاهده شد و بالاترین امتیاز حسی به دست آمد. استفاده از این پوشش تأثیر مطلوبی بر کنترل فساد شیمیایی و میکروبی داشت.	۵۹
گوشت مرغ	نانوامولسیون‌های حاوی روغن بذر کتان	نانوامولسیون روغن بذر کتان پایداری اکسیدایشی گوشت مرغ را بهبود بخشید.	٦۰
فیله مرغ سرد شده	پوشش پکتین حاوی نانوامولسیون کورکومین و اسانس (دارچین، سیر یا روغن آفتابگردان)	فیله‌های مرغ پوشش داده شده با نانوامولسیون دارای مقادیر کمتر نیتروژن فرار کل و اسید تیوباربیتوریک، و مقادیر بالاتر ظرفیت نگهداری آب و بافت بهتر نسبت به نمونه‌های شاهد بودند. پوشش حاوی نانوامولسیون شمارش کلی میکروبی، رشد باکتری‌های سرما دوست، مخمر و کپک را کاهش داد و فساد میکروبی را در مقایسه با تیمار شاهد به تأخیر انداخت.	٦۱
میگو	نانوامولسیون اسانس زعفران (*Crocus sativus* L.)	مقادیر پراکسید و تیوباربیتوریک اسید در نمونه‌های تیمار شده با ۵ درصد امولسیون کاهش یافت. نانوامولسیون زعفران تولید شده به روش اولتراسونیک اثرات محافظتی بهتری را نشان داد.	٦۵
میگو	پوشش خوراکی حاوی نانو امولسیون آلوئه ورا و اوژنول	نانو امولسیون‌های آلوئه‌ورا و اوژنول ممکن است اثرات مطلوبی در کند کردن اکسیداسیون لیپید داشته باشند. غلظت‌های بالاتر آلوئه‌ورا به طور معنی‌داری از دست دادن رطوبت، افت در حین پخت، افزایش pH و میزان اکسیداسیون را کاهش داد اما سختی را در نمونه‌های میگو افزایش داد. میزان مالون دی آلدئید در نمونه‌های پوشش داده شده در مقایسه با میگوهای بدون پوشش کمتر بود. این نانوامولسیون با موفقیت توانست کیفیت میگو را طی ۷ روز نگهداری در دمای یخچال ارتقا دهد	٦٦
فیله ماهی *Channa marulius*	نانوامولسیون روغن کلزا و کنجد	در مقایسه با گروه کنترل، مقادیر اسیدهای چرب آزاد و مقادیر پراکسید در گروه‌های حاوی نانوامولسیون کمتر بود. در ارزیابی حسی مشخص شد که نمونه‌های حاوی نانوامولسیون و بسته بندی شده تحت خلاء امتیاز حسی بالاتری نسبت به گروه کنترل داشت. نانوامولسیون‌های روغن کلزا و روغن کنجد به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی برای حفظ فیله‌های ماهی تأیید شدند، گرچه روغن کنجد بیشترین تأثیر را در جلوگیری از اکسیداسیون فیله‌ها داشت.	٦۷
فیله ماهی قزل آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus*)	نانوامولسیون‌های مبتنی بر اسانس مرکبات (پرتقال، نارنگی، گریپ فروت و لیمو)	نانوامولسیون‌های مبتنی بر اسانس‌ها بوی ماهی را از بین برده و بر کیفیت ارگانولپتیکی ماهی اثر مثبت داشتند. استفاده از نانوامولسیون باعث کاهش مقادیر پارامترهای بیوشیمیایی	٦۸

mykiss)		و کاهش رشد باکتری‌ها در مقایسه با گروه کنترل شد. مقادیر PV و FFA در فیله‌های تیمار شده با نانو امولسیون های نارنگی و گریپ فروت با سرعت کمتری افزایش یافتند. کمترین تعداد باکتری در گروه تیمار شده با نارنگی و گریپ فروت مشاهده شد.	
سوسیس ماهی	نانوامولسیون توکوفرول	افزودن ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم توکوفرول نانوامولسیون شده کیفیت سوسیس‌های ماهی را در طول نگهداری سرد بهبود بخشید و اکسیداسیون لیپید را به تأخیر انداخت. نمونه‌های تیمار شده با نانوامولسیون توکوفرول در پایان ذخیره سازی نسبت به شاهد دارای مقادیر پراکسید کمتر و اسیدهای چرب چند غیراشباع بالاتری بودند. تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانوامولسیون توکوفرول در جلوگیری از تغییر رنگ سوسیس در نگهداری در یخچال مؤثر بود، اما تأثیر معنی‌داری در بافت و pH نداشت.	٦٩
فیله ماهی قزل آلای رنگین کمان	پوشش فعال خوراکی بر پایه نانوامولسیون اسانس *Ferulago angulate* و کیتوزان (CH + EO)	تیمار نانوامولسیون اثر بازدارندگی بهتری بر رشد باکتری‌ها (*Shewanella putrefaciens* و *Pseudomonas fluorescens*) نشان داد. نانو امولسیون سازی، کارایی CH + EO را در به تأخیر انداختن افزایش TVB-N و پراکسیداسیون لیپیدی در فیله ماهی تقویت کرد. بافت، رنگ و مقبولیت کلی نمونه‌های تیمار شده با نانوامولسیون CH + EO به طور معنی‌داری نسبت به نمونه‌های دیگر بهتر بود	۷۰
فیله ماهی قزل آلای رنگین کمان	نانوامولسیون‌های مبتنی بر اسانس‌های پوست مرکبات	غلظت اسیدهای چرب تک غیراشباع (MUFA) و اسیدهای چرب چند غیراشباعی (PUFA) در فیله‌های تیمار شده با نانوامولسیون بیشتر بود، اما اسیدهای چرب اشباع شده (SFA) در فیله‌ها نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. استفاده از نانوامولسیون اسانس مرکبات از اکسیداسیون PUFA به ویژه EPA و DHA جلوگیری کرد.	۷۱
فیله ماهی قزل آلای رنگین کمان	نانوامولسیون با غلظت های مختلف روغن زیتون (۱۰، ۱۵ و ٤٥ درصد)	ماندگاری فیله قزل آلای رنگین کمان ۱۰ روز برای گروه شاهد، ۱۲ روز برای تیمارهای تویین ۸۰، ١٤ روز برای گروه نانوامولسیون روغن زیتون ۱۵ درصد (O15) و ١٦ روز برای هر دو گروه ۳۰ درصد (O30) و ٤٥ درصد نانوامولسیون روغن زیتون (O45) تعیین شد. استفاده از نانوامولسیون تأثیر مثبتی بر پارامترهای بیوشیمیایی (TVB-N، PV، FFA، TBARs و pH) و همچنین مهار رشد باکتری در مقایسه با گروه کنترل داشت. بالاترین مقبولیت حسی از تیمار O30 و O45 به دست آمد. در بین فیله‌های حاوی نانوامولسیون، کمترین میزان باکتری در گروه O45مشاهده شد.	۵۰
فیله ماهی قزل آلای رنگین کمان	دو نانوامولسیون روغن آویشن با قطر ۲۱۹ نانومتر (TONa) و قطر ١٦٣ نانومتر (TONb)	نانوامولسیون‌ها به طور موثر رشد TMAB وTPB را تا روز نهم دوره ذخیره سازی سرد به تأخیر انداختند و در فیله ماهی تیمار شده با TONb، به دلیل قطر ذرات کوچکتر، به طور قابل توجهی کاهش یافت	۷۳
آب سیب	نانوامولسیون اسانس دارچین با اسید اسکوربیک (AA)	نانوامولسیون اسانس دارچین ۸۰ تا ۹۰ درصد مهار فعالیت PPO را نشان داد.	۷۵

		هنگامی که نانوامولسیون اسانس دارچین با ۰/۰۵ درصد AA ترکیب شد، فعالیت PPO را کاملاً مهار کرد و رنگ آب سیب را در طول ٤۸ ساعت حفظ کرد. تیمار ترکیبی تخریب محتوای فنل کل و AA در آب سیب را به تأخیر انداخت.	
آب سیب	نانوامولسیون DHA/EPA	افزودن نانوامولسیون‌ها تأثیر معنی‌داری بر خواص پایه آب سیب (pH، مواد جامد محلول، اسیدتیه قابل تیتراسیون و کاهش قند) نداشت. در ارزیابی حسی، آب سیب حاوی نانوامولسیون به طور کلی قابل قبول بود.	۷٦
آب پرتقال و سیب	اسانس پوست پرتقال(CSEO) محصور شده با نانوامولسیون کیتوزان (cn-CSEO) به عنوان نانوحامل و سوسپانسیون CSEO (s-CSEO) در ترکیب با گرمای ملایم	ترکیب CSEO و گرمای ملایم اثرات هم‌افزایی کشندگی ایجاد کرد و زمان تیمار را کاهش داد تا باعث غیرفعال شدن حداکثر ۵ سیکل لگاریتمی سلول‌های *E. coli O157:H7 Sakai* شود. با توجه به نتایج اثرات ضد میکروبی و ارزیابی حسی، استفاده از CSEOبه شکل s-CSEO برای نگهداری آب پرتقال و فرم cn-CSEO عمدتاً برای آب سیب توصیه می‌شود.	۷۷
آب میوه	نانوامولسیون اسانس آویشن (*Thymus vulgaris*)	استفاده از نانوامولسیون روغن آویشن در آب میوه باعث کاهش قابل توجه جمعیت میکروبی (*S. aureus*) شد.	۷۸
آب میوه‌های آلوده	نانوامولسیون‌های اسانس (ریحان، سیاه دانه،زردچوبه، میخک و دارچین)	نانوامولسیون قوی در برابر پاتوژن‌های باکتریایی نشان دادند. نانوامولسیون دارچین باعث کاهش ٦ سیکل لگاریتمی در شمارش کل میکروبی تا ۸ ساعت شد و استریل بودن آب میوه را به مدت ۷ روز در دمای محیط حفظ کرد.	۷٤
آب طالبی	نانو امولسیون تیمول	نانوامولسیون تهیه شده با ژلاتین B مؤثرتر از ژلاتین A در آب طالبی بود. نانوامولسیون‌ها نسبت به تیمول آزاد مؤثرتر بودند.	۷۹

فرمولاسیون محصولات لبنی

شیر: شیر به‌دلیل ارزش غذایی بالا یکی از پرمصرف ترین محصولات لبنی است. بنابراین می‌توان از شیر به عنوان حامل غذایی مناسب برای افزودن آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی و تولید غذاهای فراسودمند استفاده کرد. پایداری آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی یک پارامتر مهم برای ترکیب موفقیت‌آمیز آن‌ها در شیر است [۳۲]. بنابراین فرمول‌های مختلف درون پوشانی با مواد مختلف پوشش دهنده و تکنیک‌های مختلف درون پوشانی باید در شیر مورد ارزیابی قرار گیرد تا بهترین فرمول و روش تولید بدست آید. پارک و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی پودر نانوامولسیون عصاره زردچوبه (TE-NEP) تهیه شده با اولتراسوند و خشک کن پاششی برای ارزیابی کاربرد آن در شیر پرداختند. نتایج نشان داد که محتوای کورکومین نانوکپسول‌ها در شیر غنی شده در طی ۲۱ روز نگهداری ثابت ماند. اما افزودن TE-NEP منجر به زردی شیر گردید، اگرچه عطر و بوی آن تحت تأثیر قرار نگرفت. در آزمون رهایش در سیستم مدل معده و روده، کمتر از ۱۰ درصد از مواد کپسوله شده در شرایط شبیه سازی معده آزاد شد، در حالی که تقریبا ۷۰ درصد در شرایط شبیه سازی شده روده آزاد شد [۳۳]. تیمول نانوامولسیون شده (به عنوان یه ترکیب ضد میکروبی موثر) با ترکیب امولسیفایر ژلاتین A یا B و لسیتین و تأثیر فعالیت ضدمیکروبی آن در شیر توسط زو و همکاران (۲۰۱٦) بررسی شد آن‌ها تأیید کردند که نانو امولسیون‌ها به‌طور

کلی از تیمول آزاد در شیر مؤثرتر بودند که به افزایش قابل توجه حلالیت تیمول و کاهش برهم کنش با اجزای غذایی نسبت داده شدندو تیمول نانو امولسیون شده به تدریج لیستریا مونوسیتوژنز را بعد از ٤٨ ساعت کاهش داد. در شیر بدون چربی، نانوامولسیون پایدار شده با ژلاتین A در مقایسه با ژلاتین B به‌طورکلی در برابر لیستریا مونوسیتوژنز مؤثرتر بود. برعکس، نانوامولسیون پایدار شده با ژلاتین B در مقایسه با ژلاتین A در کاهش اشریشیاکلی مؤثرتر عمل کرد [٣٤]. تفاوت جزئی در زنده مانی باکتری پس از تیمار توسط نانوامولسیون‌های تهیه شده با دو نوع ژلاتین، تأثیر خواص سطحی قطرات را در بر همکنش با غشای باکتری را نشان می‌دهد. در مطالعه دیگری ژانگ و همکاران (٢٠١٦) اکسیداسیون چربی شیر غنی شده با نانوامولسیون کورکومین را مورد بررسی قرار دادند. میزان جذب TBA نمونه شیر اصلی درمقایسه با شیر حاوی نانوامولسیون کورکومین پس از ١٠ روز بالاتر بود. اکسیداسیون چربی در شیر غنی شده با نانوامولسیون کورکومین نسبت به شیر شاهد و شیر حاوی نانو امولسیون‌های بدون کورکومین به میزان قابل توجهی پایین‌تر بود. نتایج حاکی از آن بود که نانو امولسیون کورکومین به طور قابل توجهی در نگهداری شیر مؤثر است و این ویژگی‌ها نانوامولسیون کورکومین‌ها را برای صنایع نوشیدنی مناسب می‌کند [٣٥].

ماست: ماست از شیر تخمیر شده توسط *Streptococcus salivarius subsp thermophiles* و *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* تولید می‌شود. این محصول به‌دلیل ارزش غذایی بالا به عنوان منبع عالی پروتئین، کلسیم، فسفر، ریبوفلاوین، تیامین، ویتامین B_{12}، فولات، نیاسین، منیزیم و روی در بین مصرف کنندگان محبوب است. ماست حاوی باکتری-های پروبیوتیک است که باعث کاهش جذب کلسترول و کاهش میزان فشار خون بالا، اختلالات روده‌ای و بیماری‌های مزمن می‌شود [٣٦]. قره چشمه و همکاران (٢٠٢٠) تولید و ارزیابی نانوامولسیون روغن بادام شیرین و روغن کنجد و تأثیرات آن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و میکروبی ماست غنی شده را بررسی کردند. نتایج نشان داد که pH و آب اندازی ماست با ترکیب نانوامولسیون بادام شیرین و روغن کنجد حاوی ٠/٥ درصد امولسیفایر کاهش می‌یابد، در حالی که میزان اسیدیته، تشکیل مالون دی آلدئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد. استفاده از نانو امولسیون‌های روغن هیچ تأثیر قابل توجهی بر تعداد *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* نداشت اما مقدار *Streptococcus salivarius subsp thermophilus* را کاهش داد. با افزودن روغن کنجد و بادام شیرین، ویسکوزیته ماست کاهش یافت اما مدول الاستیک و مدول ویسکوز افزایش یافت. در بین نمونه‌های تیمار شده بیشترین امتیاز حسی در طی نگهداری مربوط به ماست غنی شده با روغن کنجد بود. طبق نتایج، روغن کنجد با ٠/٢٥ درصد امولسیفایر برای تولید ماست غنی شده پیشنهاد گردید [٣٧]. در مطالعه‌ای مشابه جهت غنی سازی ماست، حامد و همکاران (٢٠١٩) به بررسی ماست فراسودمند غنی شده با نانو امولسیون روغن ماهی جهت افزایش ارزش تغذیه‌ای پرداختند. روغن زیتون و پرتقال و همچنین آلفا توکوفرول نیز در تهیه نانو امولسیون برای افزایش پایداری اکسایشی و خوش طعم شدن ماست استفاده شد. به طور کلی، نتایج نشان داد که ماست غنی شده با مخلوط روغن زیتون/ روغن ماهی نانوامولسیون شده ویژگی‌های نزدیکتری به ماست معمولی داشت. ماست غنی شده با نانوامولسیون روغن ماهی دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نسبتاً خوب، ویژگی‌های حسی قابل قبول و پایداری اکسایشی بالایی بود [٣٨]. ژانگ و همکاران (٢٠١٨)

در مطالعه‌ای مشابه، غنی سازی ماست با نانوامولسیون روغن ماهی/ گاما اوریزانول را انجام دادند و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست حاصل مورد ارزیابی قرار گرفت. افزودن نانوامولسیون روغن ماهی/ گاما اوریزانول منجر به کاهش قابل توجهی در اسیدیته و آب اندازی ماست شد. ماست دارای روغن ماهی/ گاما اوریزانول نانوامولسیون شده دارای مقدار پراکسید قابل توجهی پایین‌تر و احتباس بالاتر اسید ایکوزاپنتانوئیک (EPA) و اسید دوکوزا هگزانوئیک (DHA) در مقایسه با ماست با روغن ماهی/ گاما اوریزانول خالص بود. در ارزیابی داده‌های حسی، ماست غنی شده با نانوامولسیون روغن ماهی / گاما اوریزانول دارای امتیازات حسی نزدیک‌تری به ماست معمولی و ویسکوزیته کمتری نسبت به ماست شاهد بود [۳۹]. آلفارو و همکاران (۲۰۱۵) ماست یخ زده غنی شده با نانو امولسیون حاوی روغن سبوس برنج بنفش را فرموله کردند. آن‌ها گزارش کردند که ماست یخ زده ساده، ماست منجمد با کازئینات سدیم و ماست یخ زده حاوی نانو امولسیون مربوطه دارای سفتی مشابه بودند. ویسکوزیته ظاهری ماست یخ زده حاوی نانو امولسیون مشابه ماست یخ زده ساده بود. همه نمونه‌های ماست منجمد مایعات سودوپلاستیک بودند. طبق نتایج، افزودن نانو امولسیون حاوی روغن سبوس برنج بنفش به ماست یخ زده، مقاومت به ذوب آن را افزایش داد. افزودن نانو امولسیون حاوی روغن سبوس برنج بنفش بقای LAB ها را در طول ٦ هفته ذخیره سازی منجمد تحت تأثیر قرار نداد. ماست غنی شده با نانو - امولسیون حاوی روغن سبوس برنج بنفش در پایان دوره ذخیره سازی مقدار پراکسید بالاتر از سایر ماست‌های منجمد داشت. با این حال تمام ماست های یخ زده غنی شده دارای مقادیر پراکسید قابل قبولی بودند. از سوی دیگر تفاوت غیر معنی‌داری در TBARS در تیمارها برای تمام ماست های یخ زده غنی شده در طول ذخیره‌سازی مشاهده شد. این مطالعه نشان داد که ماست یخ زده می‌تواند با یک نانو امولسیون حاوی روغن سبوس برنج بنفش غنی شود و محصولی با پتانسیل بازاریابی منحصر به فرد در صنایع لبنی ایجاد کند [٤۰].

دوغ: دوغ یک نوشیدنی اسیدی تخمیر شده سنتی است که از طریق مخلوط کردن ماست غلیظ یا همزده با آب آشامیدنی و نمک و به دنبال آن عملیات حرارتی تولید می‌شود. دوغ به دلیل داشتن خواص ارگانولپتیک رضایت بخش، فواید سلامتی (منبع غنی از کلسیم، ویتامین‌های B و باکتری‌های پروبیوتیک) و مقرون به صرفه بودن، یکی از پرمصرف‌ترین محصولات لبنی در ایران است. بنابراین این نوشیدنی بومی یک محیط مناسب برای غنی‌سازی با ترکیبات زیست فعال مانند عصاره‌های گیاهی است [٤۱]. مطالعه زیادی درباره کاربرد مواد زیست فعال نانو امولسیون شده در دوغ صورت نگرفته است. اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی پتانسیل بالایی برای غنی سازی دوغ دارند. استفاده از سیستم‌های تحویل در مقیاس نانو می‌تواند عملکرد اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی را با بالا بردن حلالیت آن‌ها، پوشاندن بو و طعم نامطبوع، رهایش کنترل شده، تقویت زیست فراهمی و محافظت از آن‌ها در برابر گرما، تخریب اکسیژن و آنزیم‌های گوارشی در تمام مراحل فرآوری دوغ، بالا ببرد [٤۲]. از این رو، سیستم نانوامولسیون گزینه بسیار خوبی برای وارد کردن اسانس و عصاره‌های گیاهی به فرمولاسیون دوغ خواهد بود. امیری و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر نانو امولسیون عصاره گزنه (*Urtica dioica* L.) تهیه شده با توئین ۲۰ و صمغ بذر شاهی به عنوان مواد پوشش دهنده را بر پایداری و خصوصیات آنتی‌اکسیدانی دوغ را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که دوغ غنی شده با ۱۰ درصد نانوامولسیون حاوی گزنه (SNE) بالاترین TPC، DPPH، FRAP، pH و پایداری فاز و

کمترین میزان اسیدیته را نشان داد. SNE طعم گس و تلخی دارد که می‌تواند کاربرد آن را در محصولات غذایی محدود کند. در مقایسه با دوغ غنی شده با نانوامولسیون دارای عصاره آزاد، نمونه‌های غنی شده با نانوامولسیون دارای امتیازات حسی نزدیک به دوغ شاهد بودند که به حداقل رساندن این طعم‌های نامطلوب از مزیت‌های درون پوشانی است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که با استفاده از روش درون پوشانی توسط نانوامولسیون می‌توان در فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی و حسی دوغ بهبود ایجاد کرد و یک نوشیدنی فراسودمند تولید کرد [٤١].

پنیر: پنیر یکی از محبوب‌ترین محصولات لبنی است که منبع غنی از مواد مغذی ضروری مانند پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی، اسیدهای چرب زنجیره کوتاه است که می‌تواند به عنوان بخشی از رژیم غذایی سالم در نظر گرفته شود. فساد میکروبی پنیر هم توسط باکتری‌ها و هم از طریق قارچ‌ها ایجاد می‌شود. با این حال، نوع فساد بسته به نوع پنیر متفاوت است [٤٣]. بنابراین پنیر نیز گزینه مناسبی برای استفاده از نانو امولسیون ترکیبات مختلف در آن است. نانوامولسیون‌ها را می‌توان به طور مستقیم به بسترهای غذایی در حالت مایع اضافه کرد یا در صورت ترکیب با بیوپلیمر در فاز آبی نانوامو لسیون‌ها، می‌توان آن‌ها را به عنوان پوشش‌های خوراکی روی سطح مواد غذایی استفاده کرد. علاوه بر این می‌توان از ترکیب بیوپلیمرهای مختلف برای افزایش خواص فیزیکوشیمیایی امولسیون‌ها استفاده کرد [٤٤]. آرتیگا آرتیگاس و همکاران (۲۰۱۷) اثرات ضد میکروبی پوشش‌های خوراکی آلژیناتی مبتنی بر نانوامولسیون حاوی اسانس پونه کوهی و غنی شده با فیبر ماندارین (دارای خواص پری بیوتیک) را در برابر استافیلوکوکوس اورئوس تلقیح شده در پنیر کم‌چرب را ارزیابی کردند و توانایی آن‌ها را در بهبود ماندگاری پنیر مورد بررسی قرار دادند. این پوشش‌های خوراکی با حداقل ۰/۲ درصد وزنی بر وزن اسانس پونه کوهی ، باعث بهبود پایداری میکروبی قطعات پنیر، از بین بردن عوامل بیماری‌زای خارجی مانند استافیلوکوکوس اورئوس، حفظ ظاهر، افزایش ایمنی، و ویژگی تغذیه‌ای پنیر در طول زمان موثر شد. قطعات پنیر روکش دار حاوی ۲/۵ درصد (وزنی/ وزنی) اسانس پونه کوهی مانع رشد باکتری‌ها، کپک‌ها و مخمرها طی نگهداری گردید [٤٥]. در مطالعه دیگری فعالیت ضد قارچی نانوامولسیون اسانس پونه کوهی (*Origanum vulgare*) و تأثیر کاربرد آن در پنیر Minas Padrão توسط بیدویا سیما و همکاران (۲۰۱۸) بررسی شد. طبق نتایج بدست آمده نانوامولسیون اسانس پونه کوهی به دلیل خاصیت ضد قارچی از رشد طیف وسیعی از قارچ‌ها مانند *Aspergillus* sp. ،*Fusarium sp.* و *Penicillium sp.* جلوگیری کرد. اثر ضد قارچی نانوامولسیون اسانس پونه کوهی در پنیر Minas Padrão وابستگی زیادی به میزان نانوامولسیون، زمان غوطه‌ور شدن برش‌ها و دمای نگهداری داشت [٤٦].

بستنی: بستنی پرمصرف‌ترین دسر منجمد لبنی است. معنای اصطلاح "بستنی" به‌دلیل مقررات و سنت‌های مختلف، از کشوری به کشور دیگر متفاوت است و بنابراین طیف گسترده‌ای از مواد و ترکیبات و همچنین بافت محصول و فرآیندهای تولید را در بر می‌گیرد. علاوه بر این در دهه‌های اخیر تمایل به تولید بستنی مغذی و سالم به عنوان محصولات جدید با افزودن میوه‌ها، ادویه‌ها، مواد غنی از پروتئین، پروبیوتیک‌ها و پری بیوتیک‌ها افزایش یافته است [٤٧]. مصرف کنندگان در سال‌های اخیر خواستار غذاهای طبیعی هستند که سرشار از مواد مغذی هستند و ممکن است عملکردهای بیولوژیکی داشته باشند. این تقاضا تولید کنندگان مواد غذایی و محققان را ترغیب می‌کند. فرمولاسیون‌های جدیدی از بستنی را که با مواد مختلف

غنی شده است، معرفی کنند [٤٨]. چندین مطالعه قبلی برای افزودن روغن‌های سرشار از ترکیبات زیست فعال برای افزایش ارزش غذایی بستنی نظیر روغن چیا (*Salvia hispanica* L.) [٤٩]، روغن فندق و روغن زیتون [٥٠] و روغن بذر کتان [٥١] انجام شده است. اما افزودن روغن به سیستم‌های غذایی به دلیل آبگریز بودن زیاد و پس دادن روغن در محصول نهایی، یک چالش بزرگ است. بنابراین روش‌های مختلفی برای افزودن روغن در سیستم غذایی مانند نانوامولسیون‌ها پیشنهاد شده است. نانو امولسیون روغن در آب می‌تواند به راحتی به محصولات لبنی اضافه شود تا ارزش غذایی آن را بهبود بخشند [٥٢]. محمد و همکاران (۲۰۲۰) بستنی حاوی نانو امولسیون روغن *Nigella sativa* (NSO) را فرموله کردند. نانو امولسیون‌های روغن *Nigella sativa* با ترکیب صمغ عربی، کازئینات سدیم و توئین ۲۰ در سه نسبت (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) امولسیفایرها تثبیت استفاده شدند. نتیجه نشان داد که نانوامولسیون روغن *Nigella sativa* خواص رئولوژیکی بستنی و مقبولیت مصرف کننده را بهبود بخشید. در ارزیابی حسی، نمونه بستنی حاوی ۵ درصد نانو امولسیون مقبولیت بیشتری بدست آورد. طبق مطالب ذکر شده می‌توان بستنی را با نانوامولسیون روغن *Nigella sativa* غنی کرد و از مزایای مختلف روغن *Nigella sativa* برای سلامتی استفاده کرد [٤٨]. کومار و همکاران (۲۰۱٦) فرمولاسیون بستنی غنی شده با کورکومین نانودرون پوشانی شده با استفاده از کازئینات سدیم را بررسی کردند. طبق نتایج گزارش شده در ارزیابی حسی تفاوت معنی‌داری بین بستنی شاهد و بستنی تهیه شده با نانوامولسیون کورکومین مشاهده نشد. پایداری درون پوشانی کورکومین که در بستنی قرار داده شده ۹۳/۷ درصد بوده است، که نشان دهنده مقاومت آن‌ها در برابر شرایط فرآوری است. یافته‌ها حاکی از آن بود که بستنی یک محصول لبنی مناسب برای انتقال اجزای فعال زیستی لیپوفیلی (کورکومین) است که می‌تواند برای اهداف درمانی استفاده شود [٥٣].

محصولات گوشتی: غذاهای عضلانی، مانند گوشت و ماهی، منابع خوبی از پروتئین‌های با کیفیت بالا، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌های گروه B، مواد معدنی و سایر عناصر ریز مغذی هستند [٥٤]. به دلیل مقادیر بالای مواد مغذی، گوشت‌ها در معرض اکسیداسیون چربی و آلودگی میکروبی قرار می‌گیرند که سلامت مصرف کننده را تهدید می‌کند. علاوه بر این، غذاهای عضلانی به سرعت فاسد می‌شوند و منجر به کاهش کیفیت و پایداری غذا می‌شوند. این تغییرات نه تنها باعث از بین رفتن طعم و مزه، بلکه همچنین از دست دادن رنگ، بافت، کیفیت غذایی و تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود که برای سلامتی انسان مضر است [٥٥]. لذا استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها یکی از کاربردی‌ترین روش‌های جلوگیری از اکسیداسیون چربی و پروتئین است و از طرف دیگر به همین دلایل بسیاری از محققان در حال توسعه رویکردهای نوآورانه برای بهبود سلامت و ماندگاری غذاهای عضلانی از طریق افزایش کیفیت تغذیه‌ای آن‌ها یا استفاده از مواد نگهدارنده (طبیعی) هستند. بنابراین امروزه می‌توان با استفاده از رویکردهای مدرن نانوتکنولوژی برای غنی‌سازی، غذاهای عضلانی (گوشت و ماهی) با مواد مغذی مفید یا با ماندگاری بالا تولید کرد [٥٤،٥٥]. نانوامولسیون‌ها یکی از پرکاربردترین سیستم‌های تحویل برای این منظور هستند زیرا می‌توان آن‌ها را با استفاده از فن‌آوری‌های فرآوری موجود تهیه کرد و خواص آن‌ها را به راحتی تغییر داد. درون پوشانی مواد آبگریز در نانو امولسیون‌ها می‌تواند قابلیت پخش، پایداری شیمیایی و زیست فراهمی را تا حد زیادی افزایش دهد [٥٦]. از نانوامولسیون‌ها می‌توان به روش‌های مختلف در غذاهای عضلانی استفاده کرد (۱)

نانو امولسیون ممکن است به سادگی با یک گوشت چرخ شده مخلوط شود (۲) نانو امولسیون ممکن است با اسپری یا غوطه‌وری روی سطح یک محصول ماهی و گوشت به کار رود (۳) نانو امولسیون ممکن است در یک ماده پوشش دهنده گنجانده شود (مانند محلول بیوپلیمر که می‌تواند ژل ایجاد کند) و سپس بر روی سطح یک محصول گوشتی یا ماهی قرار گیرد (٤) نانوامولسیون ممکن است در فیلم خوراکی گنجانده شود و سپس برای بسته بندی گوشت یا ماهی استفاده شود [٥٤]. هر یک از این رویکردها برای کاربردهای خاص دارای مزایا و معایبی است. در این رابطه Alavi و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که اثرات ضد باکتریایی پوشش‌های آلژینات حاوی اسانس Zataria multiflora Boiss (ZMEO) در بازداری از رشد اشرشیاکلی در فیله گوشت گاو در نمونه‌های تیمار شده توسط نانو-امولسیون در مقایسه با ماکرو امولسیون بیشتر بود و کمترین رشد باکتریایی در نمونه‌های پوشش داده شده با نانو امولسیون در پایان دوره نگهداری مشاهده شد [٥٧]. در مطالعه‌ای تأثیر پوشش زیست فعال جدید غنی شده با نانو امولسیون اسانس خردل (Brassica juncea) بر کیفیت گوشت بوقلمون توسط میلانی و همکاران (۲۰۲۰) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مقدار نیتروژن (TN)، ارزش مواد واکنش دهنده اسید تیوباربیتوریک (TR)، ویژگی‌های میکروبیولوژیکی و حسی بوقلمون در طی نگهداری نشان داد که pH، TN، TR، مخمرها، کپک‌ها، کل باکتری‌های مزوفیل و سرمادوست نمونه‌های پوشش حاوی نانوامولسیون اسانس خردل همراه با ژلاتین / هیدروکسی پروپیل بتا سیکلودکسترین (FNME) به‌طور معنی‌داری کمتر از پارامترهای مشابه در سایر نمونه‌ها طی نگهداری می-باشد. استفاده ازFNME در مقایسه با نانو امولسیون اسانس خردل (NME) به‌طور معنی‌داری ویژگی‌های حسی به ویژه بو و مقبولیت را بهبود بخشید. در نمونه‌های FNME، ماندگاری گوشت بوقلمون به ۱۰-۱۵ روز طولانی‌تر شد. پوشش FNME در بهبود کیفیت کلی مؤثر بود و ماندگاری گوشت بوقلمون را در مدت زمان ذخیره سازی سرد افزایش داد [٥٨]. در مطالعه‌ای مشابه بر روی گوشت بوقلمون میلانی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که پوشش خوراکی زیست فعال بر پایهٔ ژلاتین/هیدروکسی پروپیل بتا- سیکلودکسترین حاوی ۱/۵ درصد نانو امولسیون گزنه به دلیل ممانعت از اکسیداسیون چربی و فساد میکروبی، منجر به افزایش ماندگاری گوشت بوقلمون در مقایسه با نمونه شاهد و بسته‌بندی شده با سلوفان گردید. در تیمارهای گوشت بوقلمون حاوی نانو امولسیون اسانس گزنه در مقایسه با نمونه‌های شاهد، مقادیر پایین‌تری از افت وزنی، نیتروژن فرار کل، تیوباربیتوریک اسید و نیز تعداد کمتری باکتری‌های مزوفیل، سرمادوست، کپک و مخمرها در طی دوره نگهداری مشاهده شد و در ارزیابی ویژگی‌های حسی از نظر شکل ظاهری، رنگ و پذیرش کلی بالاترین امتیاز را بدست آورد [٥٩]. عباسی و همکاران (۲۰۱۹) گوشت مرغ پخته را با اسید چرب امگا ۳ با استفاده از روغن دانه کتان نانو درون پوشانی شده غنی سازی کردند. آن‌ها گزارش دادند که نانوامولسیون‌های روغن بذر کتان باعث بهبود ثبات اکسایشی گوشت مرغ می‌شوند [٦٠]. ابدو و همکاران (۲۰۱۸) پوشش‌های پکتین حاوی نانوامولسیون حاوی کورکومین و اسانس (دارچین، سیر یا روغن آفتابگردان) تهیه کرده و سپس تأثیر آن‌ها را بر ماندگاری فیله‌های مرغ سرد شده بررسی کردند. فیله-های مرغ تحت تیمار با نانو امولسیون‌ها دارای مقادیر پایین‌تر TVB-N، مقادیر بالاتر ظرفیت نگهداری آب (WHC) و بافت بهتر نسبت به فیله‌های تیمار نشده بودند. مطالعات میکروبی نشان داد که پوشش حاوی نانوامولسیون باعث کاهش شمارش کلی میکروبی، باکتری‌های سرمادوست، رشد مخمر و کپک و فساد

میکروبی در مقایسه با تیمار شاهد می‌گردد. این مطالعه نشان داد که این نوع نانو امولسیون‌ها می‌تواند کیفیت، بافت و مشخصات غذایی فیله مرغ را بهبود بخشد [۶۱]. پوشش‌های حاوی نانو امولسیون‌های کورکومین، میزان افزایش pH در فیله‌های مرغ را در حین نگهداری کاهش می‌دهد که به فعالیت ضد میکروبی پوشش‌ها نسبت داده می‌شود [۶۱].

میگو به دلیل داشتن عناصر غذایی زیاد، یک غذای دریایی مهم است. در واقع کیفیت آن تا حد زیادی تحت تأثیر محتوای پروتئین و اسیدهای آمینه آزاد می‌باشد [۶۲]. عامل مهم دیگر که روی کیفیت میگو تأثیر می‌گذارد وجود اسیدهای چرب است زیرا ممکن است باعث اکسیداسیون چربی شود. در واقع محصولات اکسیداسیون لیپید مانند پراکسیدها می‌توانند ویژگی‌های ارگانولپتیک میگو را تغییر دهند [۶۳]. گوشت میگو در اثر قرار گرفتن در معرض اسیدهای چرب در اکسیژن جو اکسید شده و فاسد می‌گردد. بنابراین مهار یا عقب انداختن میزان اکسیداسیون لیپید در گوشت میگو برای حفظ کیفیت ضروری است [۶۴]. در رابطه با افزایش ماندگاری میگو، ابوتراب و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر مثبت نانو امولسیون اسانس زعفران (*Crocus sativus* L.) را با کاهش فعالیت میکروبی و اکسیداتیو نمونه‌ها تأیید کردند. آن‌ها گزارش دادند که شاخص پراکسید و تیوباربیتوریک اسید در نمونه‌های تیمار شده با ۵ درصد امولسیون کاهش یافت. در واقع نانو امولسیون‌های تهیه شده به روش اولتراسونیک بالاترین فعالیت ضدمیکروبی را نشان دادند و اثر محافظتی بهتری ایفا کردند [۶۵]. شریفی مهر و همکاران (۲۰۱۹) اثرات پوشش خوراکی حاوی نانوامولسیون اوژنول به عنوان ترکیب آنتی‌اکسیدانی و آلوئه‌ورا به عنوان یه ترکیب عملکردی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی میگو را بررسی کردند. طبق نتایج گزارش شده غلظت‌های بالاتر آلوئه‌ورا به طور معنی‌داری از دست دادن رطوبت، افت در حین پخت و میزان اکسیداسیون را کاهش داد اما سختی را در نمونه‌های میگو افزایش داد. مقدار مالون دی آلدئید در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به میگوی بدون پوشش کاهش یافت. نانو امولسیون با موفقیت توانست کیفیت میگو را طی ۷ روز نگهداری سرد ارتقا دهد. لازم به ذکر است که ترکیبات طبیعی مانند اوژنول و آلوئه ورا می‌توانند بر خواص حسی میگو تأثیر بگذارند [۶۶]. لذا مهم است که هر سیستم تحویل مبتنی بر نانو امولسیون بر ویژگی‌های حسی مطلوب محصولات غذایی تأثیر منفی نگذارد و لازم است در این راستا تحقیقات متعددی صورت گیرد.

از دیگر محصولات دریایی با ارزش بیولوژیکی بالا، ماهی است که حاوی اسیدهای چرب اشباع نشده زیادی است، بنابراین یک ماده حیاتی در رژیم غذایی انسان محسوب می‌شود. آنور و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که نانو امولسیون‌های روغن کلزا و کنجد باعث بهبود ثبات اکسایشی و مقبولیت حسی فیله‌های ماهی *Channa marulius* و بسته بندی تحت خلأ می‌شوند. در مقایسه با گروه کنترل، میزان اسید چرب آزاد و مقادیر پراکسید در نمونه‌های تحت تیمار کمتر بود. ارزیابی حسی فیله ماهی نشان داد که نمونه حاوی نانو امولسیون و بسته‌بندی شده تحت خلأ دارای امتیاز حسی بالاتری نسبت به گروه شاهد بودند. در واقع نانو امولسیون روغن کلزا و روغن کنجد به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی برای حفظ و ماندگاری بیشتر فیله‌های ماهی تأیید شدند، گرچه روغن کنجد بیشترین تأثیر را در جلوگیری از اکسیداسیون در فیله‌ها داشت. [۶۷]. دورموس و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی نانو امولسیون‌های مبتنی بر اسانس مرکبات (پرتقال، نارنگی، گریپ فروت و لیمو) در ماندگاری فیله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) گزارش دادند که کلیه نانو

امولسیون‌ها بوی ماهی را از بین می‌برند و تأثیر مثبتی بر کیفیت ارگانولپتیک ماهی دارند و مقادیر پارامترهای بیوشیمیایی را کاهش داده و رشد باکتری‌ها را در مقایسه با نمونه شاهد کند می‌کنند. طبق نتایج، مقادیر پراکسید (PV) و اسیدهای چرب آزاد (FFA) در فیله‌های تیمار شده با نانوامولسیون نارنگی و گریپ فروت در طی نگهداری با سرعت کمتری افزایش یافتند و کمترین میزان باکتری در فیله‌های تیمار شده با نانوامولسیون نارنگی و گریپ فروت مشاهده شد [۶۸]. در مقایسه بین تأثیر نانوامولسیون و ماکروامولسیون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و اکسیداسیون اسیدهای چرب سوسیس ماهی، فنگ و همکاران (۲۰۲۰) اظهار کردند که نانو امولسیون توکوفرول نه تنها باعث بهبود کیفیت سوسیس ماهی در زمان نگهداری سرد می‌شود، بلکه به طور موثرتری اکسیداسیون چربی را نیز تاخیر می‌اندازد. نمونه‌های تیمار شده با نانوامولسیون توکوفرول در پایان ذخیره سازی، مقادیر پراکسید کم و اسیدهای چرب غیر اشباع بیشتری نسبت به شاهد داشتند. اندازه ذرات کوچکتر، توزیع یکنواخت و پایداری بالای توکوفرول در نانوامولسیون باعث فعالیت آنتی‌اکسیدانی بهتر نسبت به ماکروامولسیون در سوسیس ماهی گردید. در این پژوهش، توکوفرول‌های نانو امولسیون شده با غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم توانستند اکسیداسیون چربی سوسیس ماهی را در حین نگهداری در یخچال به تأخیر بیندازند. تیمار حاوی ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم نانو امولسیون توکوفرول در جلوگیری از تغییر رنگ پس از نگهداری در یخچال مؤثر بود، اما تأثیر معنی‌داری در بافت و pH مشاهده نشد. چون اثر آنتی‌اکسیدانی وابسته به دوز نبود، از این رو، تیمار ۲۵۰ میلی‌گرم توکوفرول نانوامولسیون شده در به تأخیر انداختن اکسیداسیون لیپید سوسیس ماهی و بهبود کیفیت آنها در زمان ذخیره سازی سرد مؤثرتر است و بنابراین می‌توان آن‌ها را در تولید سوسیس ماهی استفاده کرد [۶۹]. شکری و همکاران (۲۰۲۰) از یک پوشش فعال خوراکی بر پایه نانو امولسیون اسانس Ferulago angulate و کیتوزان (CH + EO) برای افزایش ماندگاری فیله‌های قزل آلای رنگین کمان استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که پتانسیل ضد باکتری CH + EO در برابر دو عامل فساد ماهی، یعنی *Shewanella putrefaciens* و *Pseudomonas fluorescens* و فعالیت آنتی اکسیدانی آن قابل ملاحظه بود. طبق نتایج، نانوامولسیون سازی اثر CH + EO را در به تأخیر انداختن افزایش TVB-N پراکسیداسیون لیپید و اثر مهار کنندگی در رشد باکتریایی در فیله ماهی را تقویت می‌کند. بافت، رنگ و مقبولیت کلی فیله‌های تیمار شده با نانوامولسیون CH + EO به‌طور معنی داری نسبت به فیله‌های دیگر بهتر بود. نتایج نشان داد که استفاده از نانو امولسیون به عنوان یک روش بالقوه برای افزایش کارایی پوشش‌های فعال، کارآمد است [۷۰]. تأثیر آنتی‌اکسیدانی نانو امولسیون روغن در آب مبتنی بر اسانس پوست مرکبات خوراکی بر ترکیب اسیدهای چرب فیله ماهی قزل آلای رنگین کمان توسط اوکار (۲۰۲۰) بررسی شده است. آن‌ها گزارش دادند که غلظت اسیدهای چرب تک غیراشباع (MUFA) و اسیدهای چرب چندغیراشباعی (PUFA) در فیله‌های تحت تیمار با نانو امولسیون بیشتر، اما اسیدهای چرب اشباع (SFA) در فیله‌ها نسبت به نمونه شاهد کمتر بود. استفاده از نانوامولسیون اسانس مرکبات از اکسیداسیون PUFA به ویژه EPA و DHA جلوگیری کرد و و ماندگاری روغن ماهی را افزایش داد [۷۱]. مطالعه‌ای به منظور بررسی اثرات نانو امولسیون تهیه شده با غلظت‌های مختلف روغن زیتون (۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد) بر کیفیت حسی، شیمیایی و میکروبی فیله‌های ماهی قزل آلای رنگین کمان توسط دورموس و همکاران (۲۰۱۹) انجام گرفت. آن‌ها بیان کردند که

ماندگاری فیله ماهی قزل آلای رنگین کمان ۱۰ روز برای کنترل، ۱۲ روز برای تیمارهای توپین ۸۰، ۱٤ روز برای گروه ۱۵ درصد نانوامولسیون روغن زیتون و ۱٦ روز برای هر دو گروه ۳۰ درصد و ٤۵ درصد نانوامولسیون روغن زیتون تعیین شد. بهترین نتایج حسی از فیلههای حاوی ۳۰ درصد و ٤۵ درصد بدست آمد. استفاده از نانوامولسیونها تأثیر مثبتی بر پارامترهای بیوشیمیایی و همچنین مهار رشد باکتری در مقایسه با گروه کنترل داشت. در ارزیابی حسی مشخص شد که نانوامولسیونها در طول دوره نگهداری، از تولید بوی ماهی جلوگیری میکنند. در بین فیلههای حاوی نانوامولسیون، کمترین میزان باکتری در گروه مشاهده شد. آنها تأیید کردند که روغن زیتون با غلظت ۳۰ و ٤۵ درصد میتواند در تشکیل نانوامولسیون به عنوان نگهدارنده ماهی استفاده شود [۷۲]. مرال و همکاران (۲۰۱۹) در محدود کردن فساد میکروبی فیله ماهی قزل آلای رنگین کمان از دو نانوامولسیون ضد باکتری روغن آویشن با قطر میانگین قطرات ۲۱۹ نانومتر و با قطر ۱٦۳ نانومتر استفاده کردند. آنها گزارش دادند نانوامولسیونها بهطور مؤثری رشد کلی باکتریهای هوازی مزوفیل و باکتریهای سایکروتروف را تا روز نهم ذخیره سازی سرد، به تأخیر انداختند و البته در فیله ماهی تحت تیمار به دلیل قطر کوچکتر ذرات به طور قابل توجهی کاهش یافت [۷۳]. به طور خلاصه، این مطالعات نشان میدهند که از نانو امولسیون میتوان با جلوگیری از رشد میکروبی، کیفیت را بهبود بخشید و ماندگاری غذاهای عضلانی را افزایش داد.

فرمولاسیون آبمیوهها: آب میوهها عصارههای مایع میوههای پالپی هستند و به طور کلی با فشرده سازی یا له شدن استخراج میشوند. آب میوههای استخراج شده مستقیماً در غلظت طبیعی خود به عنوان آب میوههای تازه استفاده میشوند و یا با کنسرو، انجماد، تغلیظ یا خشک شدن پاششی ماندگاری آنها افزایش مییابد. آب میوههایی که از میوهها استخراج میشوند ممکن است به دلیل عوامل فیزیکی هنگام استخراج، فعالیت آنزیمهای خاص خود، فساد میکروبی یا ترکیبی از همه این عوامل تخریب شوند. آبمیوهها دارای مقدار اسید و قند بالایی هستند و به دلیل محتوای قند بسیار زیاد، احتمال آلودگی آنها توسط قارچها و باکتریهای فسادزا و بیماریزا وجود دارد. مطالعاتی وجود دارد که چندین باکتری بیماریزا را گزارش کردهاند که حتی در محیطهای بسیار اسیدی با pH بسیار پایین قادر به زنده ماندن هستند [۷٤]. مطالعات مختلف نقش مهم نانوامولسیون ترکیبات مختلف را در جلوگیری از فساد آبمیوه توسط میکرو فلور باکتری و قارچ نشان دادهاند. در این رابطه زو و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر نانوامولسیون اسانس دارچین با اسید اسکوربیک بر قهوهای شدن آنزیمی آب سیب را بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که نانوامولسیون اسانس دارچین ۸۰-۹۰ درصد مهار فعالیت پلی فنول اکسیداز را نشان داد که برای کنترل مؤثر قهوهای شدن رنگ سیب کافی نیست و هنگامی که نانو امولسیون اسانس دارچین با ۰/۰۵ درصد آسکوربیک اسید ترکیب شد، نانوامولسیون اسانس دارچین به عنوان یک مهار کننده PPO و اسید آسکوربیک به عنوان یک عامل کاهنده عمل میکند، که فعالیت PPO را کاملاً مهار و رنگ آب سیب را در ٤۸ ساعت ذخیرهسازی در ٤ درجه سانتیگراد حفظ میکند. این تیمار ترکیبی تخریب محتوای فنل و اسید آسکوربیک کل را در آب سیب به تأخیر انداخت و شاخص بی ثباتی آب سیب را کاهش داد. بهطورکلی این نتایج نشان داد که میتوان از ترکیب نانوامولسیون اسانس دارچین به همراه اسید آسکوربیک برای مهار واکنش قهوهای شدن آنزیمی و حفظ کیفیت آب سیب استفاده کرد [۷۵]. در مطالعه دیگری درباره غنی سازی آب سیب ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) کاربرد نانو

امولسیون DHA / EPA تهیه شده به روش وارونگی فازی امولسیون در آب سیب را فرموله کردند. آنها اظهار کردند که افزودن نانو امولسیون‌ها باعث تغییر خاصی در رنگ و کدورت آب سیب اصلی نگردید و هیچ تأثیر قابل توجهی روی سایر خواص آب سیب (pH، مواد جامد محلول، اسیدتیه قابل تیتراسیون و کاهش قند) نداشت. در رابطه با کدورت، گرچه نانوامولسیون یک مایع نوری شفاف بود اما افزودن آن باعث کاهش شفافیت آب میوه شد، که این بستگی به میزان افزودن تأثیر خاصی روی آب سیب شفاف داشت. در ارزیابی حسی، آب سیب حاوی نانو امولسیون به طور کلی قابل قبول بود [۷۶]. مقایسه بین اثر ضدمیکروبی اسانس پوست پرتقال محصور شده با نانو امولسیون کیتوزان به عنوان نانوحامل و سوسپانسیون در ترکیب با گرمای ملایم برای نگهداری آب سیب و پرتقال توسط بنتو و همکاران (۲۰۲۰) بررسی شد. آن‌ها اظهار کردند که در ارزیابی حسی هر دو آب میوه هنگام استفاده از نانوحامل ها قابل قبول بود. به طور کلی طبق نتایج، به عنوان یک حامل امیدوار کننده برای ترکیبات لیپوفیلی، درون پوشانی اسانس‌ها با نانوامولسیون کیتوزان ممکن است یک گزینه مناسب باشد که با حرارت ملایم برای حفظ آب میوه ترکیب شود. بنابراین، نانوامولسیون‌ها فعالیت ضد میکروبی خود را در برابر *E. coli* در ترکیب با گرمای ملایم ثابت نگه داشتند. استفاده از نانوحامل به شکل نانوامولسیون‌های تثبیت شده توسط کیتوزان ممکن است جایگزین بهتری برای استفاده از نانوحامل در قالب سوسپانسیون برای دستیابی به اثرات هم‌افزایی ضد میکروبی در ترکیب با گرمای ملایم باشد. با توجه به نتایج اثرات ضد میکروبی و تجزیه و تحلیل حسی، استفاده از نانوحامل در قالب سوسپانسیون برای نگهداری آب پرتقال و فرم نانوحامل بر پایه کیتوزان به‌طور عمده برای آب سیب توصیه گردید [۷۷]. پاتل و قوش (۲۰۲۰) نانوامولسیون ضد میکروبی بر پایه روغن آویشن (*Thymus vulgaris*) برای حفظ آبمیوه را فرموله کردند. طبق نتایج نانوامولسیون با غلظت سورفاکتانت –روغن (روغن آویشن–توئین ۸۰) نسبت V/V ۱:۵ با قطر ذرات ۸۳ نانومتر می‌تواند به عنوان سیستم تحویل ضد میکروبی قوی برای حفظ آب میوه استفاده شود و فعالیت ضد باکتریایی خود را در برابر *S. aureus* نشان دهد. لذا استفاده از نانوامولسیون روغن آویشن در آب میوه باعث کاهش قابل توجهی در جمعیت میکروبی گردید [۷۸].

فرانک لینه و همکاران (۲۰۱۹) فعالیت ضدباکتریایی نانوامولسیون‌های اسانس‌های ریحان، سیاه دانه، زردچوبه، گل میخک و دارچین در آبمیوه‌های آلوده را بررسی کردند. نانو امولسیون میخک و دارچین فعالیت ضد باکتریایی قوی را در برابر عوامل بیماری‌زای باکتریایی نشان دادند. چرا که نانوامولسیون اسانس دارچین به عنوان یک ماده نگهدارنده توانست استریل بودن آبمیوه‌ها را به مدت ۷ روز در دمای محیط حفظ کند. لذا برای نگهداری آب میوه‌های تازه و غیرپاستوریزه توصیه گردید [۷۴]. زو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که مهار رشد اشریشیاکلی و لیستریا مونوسیتوژن در آب طالبی توسط نانوامولسیون‌های تیمول تهیه شده با ژلاتین B مؤثرتر از ژلاتین A است. به طور کلی نانو امولسیون‌ها در محیط، از تیمول آزاد مؤثرتر بودند. تفاوت اندک در اثرات ضدمیکروبی باکتری پس از تیمار توسط نانوامولسیون‌های تهیه شده با دو نوع ژلاتین، تأثیر خواص سطح قطرات را در برهم کنش با غشای باکتری نشان می‌دهد [۷۹]. تیمول یک ترکیب ضدمیکروبی مؤثر است و می‌توان برای استفاده در غذاهای مایع به صورت درون پوشانی شده استفاده کرد. نانوامولسیون‌های مورد مطالعه، پتانسیل زیادی برای

استفاده به عنوان نگهدارنده‌های جدید ضد میکروبی برای بهبود ایمنی مواد غذایی دارند.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر نانومولسیون‌ها به دلیل کاربرد وسیع در فرمولاسیون داروها، سموم دفع آفات، مواد آرایشی، مواد غذایی، رنگ و کاربردهای محیطی مورد توجه قرار گرفته‌اند. ازجمله کاربردهای سیستم‌های نانومولسیونی در صنایع غذایی می‌توان به نقش آن‌ها در فرمولاسیون مواد غذایی و نوشیدنی‌های دارای ترکیبات فراسودمند پوشش یافته مانند کوآنزیم Q1، لیکوپن، لوتئین، بتاکاروتن، اسیدهای چرب امگا سه، ویتامین‌ها A، D_3، E، فیتواسترول‌ها و ایزوفلاون‌ها اشاره کرد. استفاده از نانو امولسیون حاوی ترکیبات زیست فعال به‌عنوان یک افزودنی طبیعی در محصولات غذایی مختلف از جمله محصولات بر پایه روغن، محصولات لبنی، محصولات گوشتی و آبمیوه-ها در این مطالعه بررسی شد و براساس نتایج مطالعات مختلف، کاربرد ترکیبات زیست فعال طبیعی در شکل نانومولسیون در فرمولاسیون این محصولات غذایی به‌طور معنی‌داری اثرگذار بوده و منجر به بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی، زیست فراهمی و ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای مواد غذایی غنی شده گردیده است.

References

1. Hasssanzadeh, H., Alizadeh, M., and Bari, M. R. 2018. Formulation of garlic oil-in-water nanoemulsion: antimicrobial and physicochemical aspects. IET nanobiotechnology, 12(5), 647-652.
2. Fattahi, R., Ghanbarzadeh, B., Dehghannya, J., Hosseini, M., and Falcone, P.M. 2020. The effect of Macro and Nano-emulsions of cinnamon essential oil on the properties of edible active films. Food Science & Nutrition, 8(12), 6568-6579.
3. Barradas, T.N. and de Holanda e Silva, K.G. 2021. Nanoemulsions of essential oils to improve solubility, stability and permeability: a review. Environmental Chemistry Letters, 19(2), 1153-1171.
4. Meleson, K., Graves, S. and Mason, T.G., 2004. Formation of concentrated nanoemulsions by extreme shear. Soft Materials, 2(2-3), 109-123.
5. Solans, C. and Solé, I. 2012. Nano-emulsions: formation by low-energy methods. Current opinion in colloid & interface science, 17(5), 46-254.
6. Silva, H.D., Cerqueira, M.Â., and Vicente, A.A. 2012. Nanoemulsions for food applications: Development and characterization. Food and Bioprocess Technology, 5(3), 854–867.
7. Asadinezhad, S., Khodaiyan, F., Salami, M., Hosseini, H., and Ghanbarzadeh, B. 2019. Effect of different parameters on orange oil nanoemulsion particle size: combination of low energy and high energy methods. J of Food Measurement and Characterization, 13(4), 2501-2509.
8. Pisoschi, A.M., Pop, A., Cimpeanu, C., Turcuş, V., Predoi, G., and Iordache, F., 2018. Nanoencapsulation techniques for compounds and products with antioxidant and antimicrobial activity-A critical view. European J of medicinal chemistry, 157, 1326-1345.
9. Swathy, J.S., Mishra, P., Thomas, J., Mukherjee, A., and Chandrasekaran, N., 2018. Antimicrobial potency of high-energy emulsifed black pepper oil nanoemulsion against aquaculture pathogen. Aquaculture, 491, 210–220.
10. Aswathanarayan, J.B., and Vittal, R.R., 2019. Nanoemulsions and their potential applications in food industry. Frontiers in Sustainable Food Systems, 3, 95.
11. Karthik, P., Ezhilarasi, P.N., and Anandharamakrishnan, C. 2017. Challenges associated in stability of food grade nanoemulsions. Critical reviews in food science and nutrition, 57(7), 1435-1450.

12.Sahani, S. and Sharma, Y.C., 2021. Advancements in applications of nanotechnology in global food industry. Food Chemistry, 342, 128318.
13.Banwo, K., Olojede, A.O., Adesulu-Dahunsi, A.T., Verma, D.K., Thakur, M., Tripathy, S., and Utama, G.L. 2021. Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. Food Bioscience, 43, 101320.
14.Dilna, S.V., Surya, H., Aswathy, R.G., Varsha, K.K., Sakthikumar, D.N., Pandey, A., and Nampoothiri, K.M. 2015. Characterization of an exopolysaccharide with potential health-benefit properties from a probiotic Lactobacillus plantarum RJF4. LWT-Food Science and Technology, 64(2), 1179-1186.
15.Adesulu-Dahunsi, A.T., Jeyaram, K., Sanni, A.I., and Banwo, K. 2018. Production of exopolysaccharide by strains of Lactobacillus plantarum YO175 and OF101 isolated from traditional fermented cereal beverage. PeerJ, 6, e5326.
16.Borthakur, P., Boruah, P. K., Sharma, B., and Das, M.R. 2016. Nanoemulsion: Preparation and its application in food industry. In Emulsions (pp. 153-191). Academic Press.
17.Pathak, M. 2017. Nanoemulsions and their stability for enhancing functional properties of food ingredients. In Nanotechnology applications in food (pp. 87-106). Academic Press.
18.Hassanzadeh, H., Alizadeh, M., and Rezazad, B.M. 2019. Nano-encapsulation of garlic extract by water-in-oil emulsion: physicochemical and antimicrobial characteristics. Food Science and Technology, 15(84), 337-347.
19.Hassanzadeh, H., Alizadeh, M., Hassanzadeh, R., and Ghanbarzadeh, B., 2022. Garlic essential oil-based nanoemulsion carrier: Release and stability kinetics of volatile components. Food Science & Nutrition, 10(5), 1613-1625.
20.Carneiro, H.C.F., Tonon, R.V., Grosso, C.R.F., and Hubinger, M.D. 2013. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. J. of Food Engineering, 115(4), 443–451
21.Mohammadi, A., Jafari, S.M., Esfanjani, A.F., and Akhavan, S. 2016. Application of nanoencapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. Food Chemistry, 190, 513–519
22.Taghvaei, M. and Jafari, S.M. 2015. Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives. J of food science and technology, 52(3), 1272-1282.
23.Rakmai, J., Cheirsilp, B., Mejuto, J.C., Simal-Gándara, J., and Torrado-Agrasar, A. 2018. Antioxidant and antimicrobial properties of encapsulated guava leaf oil in hydroxypropyl-beta-cyclodextrin. Industrial Crops and Products, 111, 219–225.
24.Sharma, S., Cheng, S.F., Bhattacharya, B., and Chakkaravarthi, S. 2019. Efficacy of free and encapsulated natural antioxidants in oxidative stability of edible oil: Special emphasis on nanoemulsion-based encapsulation. Trends in Food Science & Technology, 91, 305-318.
25.Hosseinialhashemi, M., Tavakoli, J., Rafati, A., and Ahmadi, F. 2021. The aplication of Pistacia khinjuk extract nanoemulsion in a biopolymeric coating to improve the shelf life extension of sunflower oil. Food Science & Nutrition, 9(2), 920-928.
26.Esfanjani, A.F., Jafari, S.M., Assadpoor, E., and Mohammadi, A. 2015. Nano-encapsulation of saffron extract through double-layered multiple emulsions of pectin and whey protein concentrate. J of Food Engineering, 165, 149-155.
27.Yazdan-Bakhsh, M., Nasr-Esfahani, M., Esmaeilzadeh-Kenari, R., and Fazel-Najafabadi, M. 2020. Evaluation of antioxidant properties of Heracleum Lasiopetalum extract in multilayer nanoemulsion with biopolymer coating to control oxidative stability of sunflower oil. Journa of Food Measurement and Characterization, 1-10.

28. Mohammadi, A., Jafari, S. M., Esfanjani, A.F., and Akhavan, S. 2016. Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. Food chemistry, 190, 513-519.
29. Gorji, S.G., Smyth, H.E., Sharma, M., and Fitzgerald, M. 2016. Lipid oxidation in mayonnaise and the role of natural antioxidants: A review. Trends in Food Science & Technology, 56, 88–102
30. Mansouri, S., Pajohi-Alamoti, M., Aghajani, N., Bazargani-Gilani, B. and Nourian, A. 2021. Stability and antibacterial activity of Thymus daenensis L. essential oil nanoemulsion in mayonnaise. J of the Science of Food and Agriculture, 101(9), 3880-3888.
31. Dadpour, S., and Yazdanpanah, S. 2020. Production of low-fat mayonnaise with using nano-emulsion of Cordia myxal extract. J of Food Science & Technology, 17(104), 135-147.
32. Kwak, H.-S., Al Mijan, M., and Ganesan, P. 2014. Application of nanomaterials, nano-and microencapsulation to milk and dairy products. Nano - and Microencapsulation for Foods, 1, 273–300
33. Park, S.J., Hong, S.J., Garcia, C.V., Lee, S.B., Shin, G.H., and Kim, J.T. 2019. Stability evaluation of turmeric extract nanoemulsion powder after application in milk as a food model. J. of Food Engineering, 259, 12-20.
34. Xue, J., Davidson, P.M., and Zhong, Q., 2017. Inhibition of Escherichia coli O157: H7 and Listeria monocytognes growth in milk and cantaloupe juice by thymol nanoemulsions prepared with gelatin and lecithin. Food Control, 73, 1499-1506.
35. Joung, H.J., Choi, M.J., Kim, J.T., Park, S.H., Park, H.J., and Shin, G.H. 2016. Development of food-grade curcumin nanoemulsion and its potential application to food beverage system: antioxidant property and in vitro digestion. J of food science, 81(3), 745-753.
36. Cruz, A.G., Cavalcanti, R.N., Guerreiro, L.M.R., Sant'Ana, A.S., Nogueira, L.C., Oliveira, C.A.F., ... and Bolini, H.M.A. 2013. Developing a prebiotic yogurt: Rheological, physico-chemical and microbiological aspects and adequacy of survival analysis methodology. J of food engineering, 114(3), 323-330.
37. Gharehcheshmeh, M.H., Arianfar, A., Mahdian, E., and Naji-Tabasi, S. 2020. Production and evaluation of sweet almond and sesame oil nanoemulsion and their effects on physico-chemical, rheological and microbial characteristics of enriched yogurt. J of Food Measurement and Characterization, 1-11.
38. Hamed, S.F., Soliman, T.N., Hassan, L. K., and Abo-Elwafa, G. 2019. Preparation of Functional Yogurt Fortified with Fish Oil-In-Water Nanoemulsion. Egyptian J of Chemistry, 62 (Special Issue (Part 1) Innovation in Chemistry), 301-314.
39. Zhong, J., Yang, R., Cao, X., Liu, X., and Qin, X. 2018. Improved physicochemical properties of yogurt fortified with fish oil/γ-oryzanol by nanoemulsion technology. Molecules, 23(1), 56.
40. Alfaro, L., Hayes, D., Boeneke, C., Xu, Z., Bankston, D., Bechtel, P.J., and Sathivel, S. 2015. Physical properties of a frozen yogurt fortified with a nano-emulsion containing purple rice bran oil. LWT-Food Science and Technology, 62(2), 1184-1191.
41. Amiri, Z.R., Nemati, A., Tirgarian, B., Dehghan, B., and Nasiri, H. 2021. Influence of stinging nettle (*Urtica dioica* L.) extract-loaded nano-emulsion on the storage stability and antioxidant attributes of Doogh (Traditional Iranian yoghurt beverage). J of Food Measurement and Characterization, 15(1), 437-448.
42. Liu, Q., Huang, H., Chen, H., Lin, J., and Wang, Q. 2019. Food-grade nanoemulsions: preparation, stability and application in encapsulation of bioactive compounds. Molecules, 24(23), 4242.
43. Khorshidian, N., Yousefi, M., Khanniri, E., and Mortazavian, A.M. 2018. Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 45, 62-72.
44. George, M., and Abraham, T.E. 2006. Polyionic hydrocolloids for the intestinal

delivery of protein drugs: alginate and chitosan—a review. J of controlled release, 114(1), 1-14.
45. Artiga-Artigas, M., Acevedo-Fani, A., and Martín-Belloso, O. 2017. Improving the shelf life of low-fat cut cheese using nanoemulsion-based edible coatings containing oregano essential oil and mandarin fiber. Food control, 76, 1-12.
46. Bedoya-Serna, C.M., Dacanal, G.C., Fernandes, A.M., and Pinho, S.C. 2018. Antifungal activity of nanoemulsions encapsulating oregano (*Origanum vulgare*) essential oil: in vitro study and application in Minas Padrão cheese. Brazilian J of microbiology, 49(4), 929-935.
47. Giudici, P., Baiano, A., Chiari, P., De Vero, L., Ghanbarzadeh, B., and Falcone, P.M. 2021. A Mathematical Modeling of Freezing Process in the Batch Production of Ice Cream. Foods, 10(2), 334.
48. Mohammed, N.K., Muhialdin, B.J., and Meor Hussin, A.S. 2020. Characterization of nanoemulsion of Nigella sativa oil and its application in ice cream. Food science & nutrition, 8(6), 2608-2618.
49. Ullah, R., Nadeem, M., and Imran, M., 2017. Omega-3 fatty acids and oxidative stability of ice cream supplemented with olein fraction of chia (*Salvia hispanica* L.) oil. Lipids in health and disease, 16(1), 1-8.
50. Güven, M., Kalender, M., & Taşpinar, T., 2018. Effect of using different kinds and ratios of vegetable oils on ice cream quality characteristics. Foods, 7(7), 104.
51. Gowda, A., Sharma, V., Goyal, A., Singh, A.K., and Arora, S. 2018. Process optimization and oxidative stability of omega-3 ice cream fortified with flaxseed oil microcapsules. J of food science and technology, 55(5), 1705-1715.
52. Cheong, A.M., Tan, K.W., Tan, C.P., and Nyam, K.L. 2016. Improvement of physical stability properties of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil-in-water nanoemulsions. Industrial Crops and Products, 80, 77-85.
53. Kumar, D.D., Mann, B., Pothuraju, R., Sharma, R., and Bajaj, R. 2016. Formulation and characterization of nanoencapsulated curcumin using sodium caseinate and its incorporation in ice cream. Food & function, 7(1), 417-424.
54. Das, A.K., Nanda, P.K., Bandyopadhyay, S., Banerjee, R., Biswas, S., and McClements, D. J., 2020. Application of nanoemulsion-based approaches for improving the quality and safety of muscle foods: A comprehensive review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(5), 2677-2700.
55. Amiri, E., Aminzare, M., Azar, H.H., and Mehrasbi, M.R. 2019. Combined antioxidant and sensory effects of corn starch films with nanoemulsion of Zataria multiflora essential oil fortified with cinnamaldehyde on fresh ground beef patties. Meat science, 153, 66-74.
56. Tan, C.P., and Nakajima, M. 2005. β-Carotene nanodispersions: Preparation, characterization and stability evaluation. Food Chemistry, 92(4), 661–671.
57. Alavi, S.H., Khanzadi, S., Hashemi, M., and Azizzadeh, M. 2020. The Effects of Alginate Coatings Containing Zataria multiflora Boiss Essential Oil in the Forms of Coarse Emulsion and Nano-emulsion on Inoculated Escherichia coli O157: H7 in Beef Fillets. J of Nutrition, Fasting and Health, 8(2), 94-99.
58. Milani, M.A., Dana, M.G., Ghanbarzadeh, B., Alizadeh, A., and Afshar, P.G. 2020. Effect of novel bioactive coating enriched with nanoemulsion of mustard essential oil on the quality of turkey meat. J of Food & Nutrition Research, 59(1).
59. Adeli Milani, M., Ghobadi Dana, M., Ghanbarzadeh, B., Alizadeh, A., and Ghasemi Afshar, P. 2020. Effect of Gelatin/Hydroxypropyl- β - Cyclodextrin Bioactive Edible Coating Containing Nanoemulsion of Nettle Essential Oil on the Shelf Life of Turkey Meat. J of Food Technology and Nutrition, 17(fall 2020), 19-36.
60. Abbasi, F., Samadi, F., Jafari, S.M., Ramezanpour, S., and Shams-Shargh, M. 2019. Production of omega-3 fatty acid-enriched broiler chicken meat by the application of nanoencapsultsed flaxseed

oil prepared via ultrasonication. J of Functional Foods, 57, 373-381.

61. Abdou, E.S., Galhoum, G.F., and Mohamed, E.N. 2018. Curcumin loaded nanoemulsions/pectin coatings for refrigerated chicken fillets. Food Hydrocolloids, 83, 445–453.

62. Liu, X., Jia, Y., Hu, Y., Xia, X., Li, Y., Zhou, J., and Liu, Y. 2016. Effect of Citrus wilsonii Tanaka extract combined with alginate-calcium coating on quality maintenance of white shrimps (Litopenaeus vannamei Boone). Food control, 68, 83-91.

63. Alasalvar, C., Shahidi, F., Miyashita, K., and Wanasundara, U. 2011. Seafood quality, safety, and health applications: an overview. Handbook of seafood quality, safety and health applications, 1-10.

64. Song, Y., Liu, L., Shen, H., You, J., and Luo, Y. 2011. Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (Megalobrama amblycephala). Food Control, 22(3-4), 608-615.

65. Aboutorab, M., Ahari, H., Allahyaribeik, S., Yousefi, S., and Motalebi, A. 2021. Nano-emulsion of saffron essential oil by spontaneous emulsification and ultrasonic homogenization extend the shelf life of shrimp (*Crocus Sativus* L.). J of Food Processing and Preservation, 45(2), e15224.

66. Sharifimehr, S., Soltanizadeh, N., and Hossein Goli, S.A. 2019. Effects of edible coating containing nano-emulsion of Aloe vera and eugenol on the physicochemical properties of shrimp during cold storage. J of the Science of Food and Agriculture, 99(7), 3604-3615.

67. Anwer, I., Abbas, F., Hafeez-ur-Rehman, M., Nadeem, M., Khalil, M., Butt, M., and Inayat, M. 2021. Nanoemulsion of Virgin Rapeseed and Sesame Oil improve Oxidation Stability and Sensoric acceptability of Vacuum Packed Fish Fillets.

68. Durmus, M. 2020. The effects of nanoemulsions based on citrus essential oils (orange, mandarin, grapefruit, and lemon) on the shelf life of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) fillets at 4±2° C. J of Food Safety, 40(1), e12718.

69. Feng, X., Tjia, J. Y.Y., Zhou, Y., Liu, Q., Fu, C., and Yang, H. 2020. Effects of tocopherol nanoemulsion addition on fish sausage properties and fatty acid oxidation. LWT, 118, 108737.

70. Shokri, S., Parastouei, K., Taghdir, M., and Abbaszadeh, S. 2020. Application an edible active coating based on chitosan-Ferulago angulata essential oil nanoemulsion to shelf life extension of Rainbow trout fillets stored at 4 C. International J of biological macromolecules, 153, 846-854.

71. Uçar, Y. 2020. Antioxidant effect of nanoemulsions based on citrus peel essential oils: Prevention of lipid oxidation in trout. European J of Lipid Science and Technology, 122(5), 1900405.

72. Durmus, M. 2020. The effects of nanoemulsions based on citrus essential oils (orange, mandarin, grapefruit, and lemon) on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets at 4±2° C. J of Food Safety, 40(1), e12718.

73. Meral, R., Ceylan, Z., and Kose, S. 2019. Limitation of microbial spoilage of rainbow trout fillets using characterized thyme oil antibacterial nanoemulsions. J of Food Safety, 39(4), e12644.

74. Franklyne, J.S., Iyer, S., Ebenazer, A., Mukherjee, A., and Chandrasekaran, N. 2019. Essential oil nanoemulsions: antibacterial activity in contaminated fruit juices. International J of Food Science & Technology, 54(9), 2802-2810.

75. Xu, J., Zhou, L., Miao, J., Yu, W., Zou, L., Zhou, W., and Liu, W. 2020. Effect of Cinnamon Essential Oil Nanoemulsion Combined with Ascorbic Acid on Enzymatic Browning of Cloudy Apple Juice. Food and Bioprocess Technology, 13(5), 860-870.

76. Zhang, L., Han, C., Liu, M., Yang, H., Zhang, F., Liu, B., and Meng, X. 2020. The formation, stability of DHA/EPA nanoemulsion prepared by emulsion phase inversion method and its application in apple juice. Food Research International, 133, 109-132.

77. Bento, R., Pagán, E., Berdejo, D., de Carvalho, R.J., García-Embid, S., Maggi, F., and Pagán, R. 2020. Chitosan nanoemulsions of cold-pressed orange essential oil to preserve fruit juices. International J of Food Microbiology, 331, 108-786.
78. Patel, A., and Ghosh, V. 2020. Thyme (*Thymus vulgaris*) Essential Oil–Based Antimicrobial Nanoemulsion Formulation for Fruit Juice Preservation. In Biotechnological Applications in Human Health (pp. 107-114). Springer, Singapore.
79. Xue, J., Davidson, P.M., and Zhong, Q. 2017. Inhibition of Escherichia coli O157: H7 and Listeria monocytognes growth in milk and cantaloupe juice by thymol nanoemulsions prepared with gelatin and lecithin. Food Control, 73, 1499-1506.