مجله علوم وفنون دریایی، فصل نامه ی علمی پژوهشی

در دست انتشار /Doi: 10.22113/JMST.2023.402559.2537

مقاله پژوهشی

Available Online: *http://jmst.kmsu.ac.ir*

بررسی ویژگی ریزپوشینه‌های حاوی روغن ماهی و اثر آن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی ماست فراسودمند

مریم حسنی [۱*]، مهین ریگی [۲]، معظمه کردجزی [۳]، شیرین حسنی [۳]

۱. گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

۲. گروه علوم آبزیان، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران.

۳. گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: mhasani81@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۶ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۴/۱۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۴/۱۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2023.402559.2537

چکیده

اسیدهای چرب امگا ۳ در دستیابی به سلامت مطلوب و محافظت در برابر انواع بیماری ها نقش دارند. اگرچه ناپایداری و اکسیداسیون اسیدهای چرب ضروری آن، استفاده از آن را در محصولات غذایی با محدودیت مواجه کرده است. در میان راهبردهای مورد استفاده برای جلوگیری از این چالش‌ها، روش درون‌پوشانی موفق ترین روش بوده است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف بهبود پایداری روغن ماهی به کمک روش درون‌پوشانی و تولید محصولی فراسودمند انجام گرفت. در این تحقیق درون‌پوشانی روغن ماهی با نسبت ۳:۱ (روغن: پوشش) با پوشش‌هایی از مالتودکسترین، کازئینات سدیم، کنستانتره آب پنیر و نشاسته اصلاح شده توسط خشک کن انجمادی انجام شد. ماست غنی شده با پودر روغن ماهی کپسوله شده تولید و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی محصول مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اندازه ذرات، شاخص پراکندگی ذرات و راندمان درون‌پوشانی کپسول‌های به ترتیب ۰/۸۵میکرومتر، ۰/۲۹ و ۸۹/۳ درصد می‌باشد. همچنین نتایج مشخص کردند میزان آب اندازی ماست غنی شده با میکروکپسول کمتر و ظرفیت نگهداری آب بیشتر از نمونه شاهد و غنی شده با روغن ماهی غیرکپسوله بود و افزایش مقادیر پراکسید در ماست غنی‌شده با روغن ماهی کپسوله‌شده روندی کندتر از ماست غنی شده با روغن غیرکپسوله داشت. در تمامی تیمارهای ماست، pH کاهش و اسیدیته افزایش یافت. ارزیابی حسی تیمارها مشخص نمود طی نگهداری از شاخص‌های کیفی تیمارهای ماست کاسته شد و تیمارهای ماست غنی شده با روغن میکروکپسوله و ماست شاهد از لحاظ پذیرش کلی اختلاف معنی داری را نشان ندادند.

واژگان کلیدی: روغن ماهی، درون‌پوشانی، پراکسید، ماست، ارزیابی حسی.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons. org/licenses/ by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In Press

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، روغن‌هایی که غلظت بالایی از اسیدهای چرب چند غیراشباع (PUFA) دارند به طور فزاینده‌ای در تولید مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این میان، روغن ماهی منبع مهمی از اسیدهای چرب غیراشباع با چند پیوند دوگانه و امگا ۳ به‌طور عمده EPA (Eicosapentaenoic acid) و DHA (Docosahexaenoic acid) است. نقش آن‌ها در توسعه سلول‌های مغزی در طول دوره بارداری و شبکیه چشم و اثرات مثبت آن‌ها در کاهش بیماری‌های قلبی عروقی و پیشگیری از برخی سرطان‌ها و بیماری‌های التهابی به اثبات رسیده است (Shegelman et al., 2019). غنی‌سازی غذاهای مختلف با روغن ماهی روشی برای افزایش مصرف روغن ماهی است. با این حال، افزودن مقادیر مؤثر EPA و DHA در محصولات غذایی با دو چالش عمده مواجه است: اول اینکه، روغن ماهی یک ترکیب غیر قطبی است که نمی‌تواند در آب حل شود. با این حال، آماده‌سازی آن به‌عنوان امولسیون می‌تواند مکانیزم فیزیکی برای پراکندگی قطرات روغن در سیستم‌های آبی باشد (Jafari et al., 2008). چالش دوم ناپایداری ساختار مولکولی اسیدهای چرب اشباع نشده چندگانه (PUFAs) است که مستعد اکسیداسیون هستند. علاوه بر اکسیداسیون، طعم و بوی نامطلوب روغن ماهی باعث کاهش کیفیت محصولات غذایی و مقبولیت مصرف‌کننده می‌شود (Feizollahi et al., 2018). رویکردهای مختلفی برای جلوگیری از اکسیداسیون لیپید در غذاهای غنی شده با روغن ماهی مورد مطالعه قرار گرفته است و درون‌پوشانی به عنوان موفق‌ترین روش پیشنهاد شده است (Gowda et a., 2018; Goksen et al., 2020). درون‌پوشانی تکنیکی برای به دام انداختن عوامل زیست فعال در داخل یک دیوار یا ماده حامل است و یک فرآیند ارزشمند برای افزایش انتقال مولکول‌های فعال زیستی و همچنین آزادسازی کنترل شده آن‌ها است. کپسوله کردن روغن ماهی ممکن است یک سد محافظ در برابر اکسیداسیون ایجاد کند که به نوبه خود طعم ناخوشایند روغن ماهی را می‌پوشاند. نوع عوامل محصور کننده یا مواد دیواره مورد استفاده، و همچنین روش کپسوله سازی، فاکتورهای مهمی هستند که در ارزیابی کپسوله سازی باید در نظر گرفته شوند (Mahdavi et al., 2022).

مالتودکسترین‌ها ترکیباتی هستند که به دلیل توانایی تشکیل شبکه در روش‌های مختلف کپسولاسیون به عنوان ماده دیواره‌ای مورد توجه است. بالا بودن راندمان درون‌پوشانی توسط مالتودکسترین، پایین بودن گرانروی محلول آن‌ها حتی در غلظت‌های بالا، در دسترس بودن آن‌ها در اوزان مولکولی مختلف و پایین بودن قیمت آن‌ها و حفاظت مناسب در برابر اکسیداسیون از عوامل مهم در استفاده از این ترکیبات در کپسولاسیون است. اگرچه فاقد خصوصیات بین سطحی مورد نیاز جهت راندمان بالای کپسوله‌کردن می‌باشد. بنابراین جهت رفع این مشکل، معمولا در ترکیب با مواد بیو پلیمری دیگری همچون نشاسته‌های اصلاح شده و پروتئین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Goula and Adamopoulos, 2012).

کنسانتره پروتئین آب پنیر (WPC) به طور گسترده در امولسیون های غذایی به عنوان امولسیفایر/ تثبیت کننده استفاده می‌شود، بطوری‌که نقش مهمی در مقاومت قطرات در برابر لخته شدن و ادغام در طول ذخیره سازی طولانی مدت دارد. همچنین با جلوگیری از دسترسی پرواکسیدان‌ها به قطرات و پوشاندن بو، اکسیداسیون لیپید را مهار می‌کند. پروتئین‌های آب پنیر دارای مشخصات فارماکوکینتیک بسیار پایداری هستند، زیرا در محیط‌های اسیدی منعقد نمی‌شوند و همچنین می‌توانند در برابر عملکرد مخرب آنزیم کیموزین در معده مقاومت کنند (Hamed et al., 2019).

نشاسته‌های اصلاح شده برای ثبات امولسیون به دلیل فعالیت سطحی بالا و کپسولاسیون ترکیبات حساس مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع نشاسته دارای ویسکوزیته پایینی است که این حالت باعث افزایش کارایی و عملکرد بالا در فرایند کپسولاسیون می‌شود (Rocha et al., 2012). Hi-cap 100 و Capsule دو نوع تجاری متداول از نشاسته‌های اصلاح‌شده می‌باشد، که از ذرت مومی تهیه می‌گردند و اختصاصا مناسب جهت کپسولاسیون می‌باشند. کازئینات سدیم به عنوان یک پلی‌مر آمفی‌فیلیک عالی، به طور وسیعی جهت بهبود بافت، مدت زمان ماندگاری و یا ارزش تغذیه‌ای امولسیون‌های روغن در آب و به جهت دارا بودن خصوصیات عملکردی و فیزیکی ایده‌ال، خصوصیات آمفی‌فیلیک و امولسیون کنندگی جهت کپسولاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد (Long et al., 2012; Chen and Zhong, 2014).

غنی سازی محصولات غذایی با روغن ماهی به روش درون‌پوشانی می‌تواند راهی برای افزایش در دسترس بودن آن و بهبود سلامت مصرف کننده باشد. مطالعات مختلف گزارش کردند که از روغن ماهی کپسوله شده و اسیدهای چرب امگا ۳ در محصولات غذایی مانند: نان (Ojagh and Hasani, 2018)، ناگت مرغ (Pourashouri et

In Press

al., 2021)، سوسیس (Pourashouri et al., 2020) ، سس مایونز (Miguel et al., 2019) ، آب میوه (Sridhar et al., 2021) استفاده شده‌است. محصولات لبنی مانند ماست به عنوان یک محصول سالم و سرشار از مواد مغذی مانند کلسیم و پروتئین‌های با کیفیت، و نیز به دلیل مصرف زیاد و نگهداری در یخچال کاندیدای خوبی برای غنی سازی توسط روغن ماهی هستند (Hamed et al., 2019; Zhong et al., 2018).

از طرف دیگر، با توجه به پتانسیل بالای کشورمان در صید ماهی کیلکا و با توجه به کیفیت تغذیه ای بسیار بالای روغن ماهی و اثرات مفید آن بر سلامتی، با افزایش پایدارسازی روغن این ماهی در برابر اکسیداسیون توسط تکنیک کپسولاسیون می توان به نحو بهینه‌ای از روغن این ماهی به منظور غنی‌سازی فراورده‌های غذایی استفاده نمود که منجر به ایجاد محصولاتی با کیفیت و عمر نگهداری بالا می‌شود (Pegg and Shahidi, 2007). بنابر این هدف از این پژوهش، تهیه و بررسی ریزکپسول‌های حامل روغن ماهی با پوشش کمپلکس پلی‌ساکارید-پروتئین جهت غنی‌سازی ماست و ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی آن می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

ماهی کیلکا (*Clupeonella cultriventris caspia*) در فصل بهار از شرکت خزر تولید واقع در شهرستان بندر انزلی خریداری گردید. کلرید منیزیم از شرکت لوبا شیمی و توئین ۸۰ از شرکت سیگما آلدریچ تهیه شد. سایر مواد شیمیایی مورد استفاه با درجه آزمایشگاهی از شرکت مرک خریداری گردید. مالتو دکسترین (۲۰- ۱۸ DE) از شرکت Kirsh pharma کشور آلمان، کازئینات سدیم و کنستانتره آب پنیر از شرکت Friesland Campina کشور هلند، نشاسته اصلاح شده با نام تجاری Hi-Cap 100™ از شرکت National Starch کشور آلمان تهیه گردید.

جهت استخراج روغن از ماهی کیلکا، ۱۰۰ گرم نمونه با استفاده از آسیاب برقی خرد گردید و با ۱۰ میلی‌لیتر کلروفرم و ۲۰۰ میلی‌لیتر متانول به یک بشر ۵۰۰ میلی‌لیتری انتقال یافت و برای ۴-۲ دقیقه به خوبی مخلوط گردید. سپس ۱۰۰ میلی‌لیتر کلروفرم به مخلوط اضافه و ۳۰ ثانیه هم زده شدند. ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه و ۳۰ ثانیه مخلوط گردیدند. مخلوط مورد نظر با قیف بوخنر حاوی کاغذ صافی صاف شده و حاصل صافی به یک دکانتور ۵۰۰ میلی‌لیتری انتقال یافت. جداسازی بعد از جداشدن کامل دو فاز از یکدیگر صورت گرفت. لایه بالایی حاوی آب و متانول و لایه زیرین حاوی کلروفرم بود (حجم کلروفرم حداقل ۱۵۰ لیتر می‌باشد که حاوی روغن خالص شده است). لایه کلروفرمی به بالن ته گرد ۲۵۰ میلی‌لیتری انتقال یافت و با استفاده از روتاری در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تحت خلا حلال آن تبخیر و بازده استخراج بر حسب درصد گزارش گردید (Bligh and Dyer, 1959). پس از انجام مراحل استخراج، روغنی زرد رنگ با بازده ۵/۱ درصد به دست آمد.

جهت تشخیص پروفایل و مقدار اسیدهای چرب در روغن ماهی کیلکا، از گاز کروماتوگراف :Agilent- 6890, USA ، ستون: SGE BPX 70;120 m × 0.25 mm ×0.20 µm، دتکتور: FID، حرارت انژکتور: ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد، حرارت دتکتور: ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، حرارت ستون:۲۲۰- ۱۸۰درجه سانتی‌گراد به ازای افزایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه، میزان تزریق: ۱ میکرولیتر، جریان گاز ازت: ml/min ۰/۹ و ۱ میکرولیتر استانداردهای اسید چرب تزریق و زمان اقامت آن‌ها تعیین گردید، سپس نمونه‌ها تزریق، شناسایی و تعیین درصد شدند. پروفایل اسیدهای چرب و همچنین مجموع اسیدهای چرب و نسبت آن‌ها در روغن ماهی کیلکا (*Clupeonella cultriventris caspia*) در جدول ۱ نشان داده شده است.

ابتدا جهت تهیه امولسیون، ترکیبات مختلف مواد دیواره‌ای شامل مالتودکسترین (۱۵ گرم)، کازئینات سدیم (۲۰ گرم)، کنستانتره پروتئین آب پنیر (۲۰ گرم) و نشاسته اصلاح‌شده (۲۰ گرم) در آب مقطر حل گردید. مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده (Hi-Cap100) به صورت جداگانه در آب دیونیزه ۴۰ درجه سانتی‌گراد با مگنت همزده و تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد سرد گردید. کازئینات سدیم و کنستانتره آب پنیر در آب دیونیزه ۵۵ درجه سانتی‌گراد با مگنت هم زده شد. سپس تا دمای محیط سرد گردید. تمامی نمونه‌ها یک روز قبل از تهیه امولسیون تولید شدند. در تمامی نمونه ها از ۱ گرم توئین ۸۰ به ازای ۱۰۰ گرم روغن ماهی در هنگام تهیه امولسیون استفاده گردید و آزید سدیم ۰/۰۲درصد (وزنی / حجمی) به امولسیون به عنوان یک ماده ضد میکروبی اضافه شد. غلظت کل ماده جامد حل شده ۲۰٪ (وزنی / وزنی) در نظر گرفته شد. سپس روغن ماهی به نسبت ۳:۱ به محلول اضافه و با هموژنایزر اولتراتورکس به مدت ۵ دقیقه با دور rpm ۱۵۰۰۰ کاملا هموژن شده و امولسیونی یکنواخت به‌دست آمد (Gallardo et al., 2013).

In Press

جدول ۱- پروفایل اسید چرب روغن ماهی کیلکا

Table 1- Fatty acid profile of Kilka fish oil

اسیدهای چرب	روغن ماهی کیلکا (٪)
C14: 0	3.83 ± 0.17
C16: 0	19.73± 2.26
C16: 1	6.74 ± 0.47
C18: 0	4.27 ± 0.21
C18: 1	26.77 ± 1.73
C18: 2n-6	2.27 ± 0.07
C18: 3n-3	2.10 ± 0.30
C20: 1n-9	2.63 ± 0.17
C20: 5n-3 (EPA)	7.03 ± 0.29
C22: 5n-3 (DPA)	1.29 ± 0.10
C22: 6n-3 (DHA)	16.10 ± 1.34
SFA = 31.59%	
MUFA = 39.31%	
PUFA = 29.08%	
ω3/ω6 = 1.4%	
Polyene Index = 0.92%	

رابطه (۱)

$$D_{43} = \Sigma\, z_i d_i^{\,4} / \Sigma\, z_i d_i^{3}$$

امولسیون‌های تهیه شده ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد منجمد شده و پس از آن در خشک کن انجمادی در فشار تقلیل یافته خشک گردیدند. فرایند خشک شدن امولسیون‌های منجمد در خشک‌کن انجمادی ۷۲ ساعت به طول انجامید. توده‌های اسفنجی حاصله با استفاده از یک هاون چینی به پودر یکنواختی تبدیل شدند. این پودرها در کیسه‌های پلاستیکی کاملا درب بسته در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا آزمایشات فیزیکو شیمیایی لازم بر روی آن‌ها به عمل آید.

برای اندازه‌گیری متوسط قطر و توزیع اندازه ذرات و شاخص پراکندگی (PDI: Poly Dispersity Index)، ابتدا دیسپرسیون آن‌ها در اتانول تهیه شد و برای جلوگیری از بهم چسبیدن ذرات از امواج اولتراسوند استفاده شد. سپس به کمک دستگاه انکسار نور لیزر (مدل Zetasizer nano، ساخت شرکت Malvern، انگلستان) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. برای محاسبه قطر متوسط ذرات که با نماد d_{43} (قطر حجم – طول) نمایش داده می‌شود، از رابطه (۱) استفاده شد (Carneiro et al., 2013). در این رابطه تعداد ذرات z_i با قطر d_i می‌باشد. همچنین شاخص پراکندگی با توجه به منحنی توزیع اندازه ذرات توسط نرم افزار دستگاه محاسبه گردید.

به منظور محاسبه راندمان درون‌پوشانی (Encapsulation efficiency)، ابتدا به منظور استخراج روغن، کل یک نمونه ۴ گرمی از پودر را در ۴۰ میلی‌لیتر آب با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد پخش و سپس به آرامی همزده شد. ۴ میلی‌لیتر هیدروکسید آمونیوم ۲۵٪ اضافه گردید و محلول در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب گرم همراه با تکان دادن، حرارت داده شد. سپس محلول در دمای اتاق سرد و روغن توسط سه نوع حلال استخراج گردید. در مرحله اول: ۲۰ میلی‌لیتر اتانول، ۵۰ میلی‌لیتر دی اتیل اتر و ۵۰ میلی‌لیتر هگزان، در مرحله دوم: ۱۰ میلی‌لیتر اتانول، ۵۰ میلی‌لیتر دی اتیل اتر و ۵۰ میلی‌لیتر هگزان، در مرحله سوم: ۵۰ میلی‌لیتر دی اتیل اتر و ۵۰ میلی‌لیتر هگزان. بعد از فیلتراسیون از طریق کاغذ صافی حاوی سولفات سدیم بدون آب، حلال توسط روتاری اواپراتور تبخیر گردید. سپس روغن جمع آوری و تا رسیدن به وزن ثابت توسط بخار نیتروژن خشک شد. برای استخراج روغن آزاد، ۱۵ میلی-لیتر هگزان به ۲ گرم پودر در یک شیشه ۳۰ میلی‌لیتری درپوش‌دار افزوده شد. به مدت ۲ دقیقه در دمای محیط هم زده تا روغن آزاد استخراج گردید. محلول از کاغذ واتمن شماره ۱ عبور داده شد و پودر باقی‌مانده روی کاغذ صافی سه مرتبه توسط هگزان شستشو گردید

In Press

(در هر مرتبه از ۲۰ میلی‌لیتر هگزان استفاده شد). پودرهای باقی مانده، خشک و حلال نیز در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد تبخیر شد تا به وزن ثابت برسد. به منظور استخراج روغن کپسوله، روغن آزاد پودر خارج شده و پودر تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. سپس روغن میکروکپسوله به روش استخراج روغن کل استخراج گردید. راندمان درون‌پوشانی از طریق رابطه (۲) محاسبه شد (Ojagh and Hasani, 2018).

به منظور تهیه ماست فراسودمند از شیر خام با میزان چربی ۱/۵ درصد برای تهیه سه نمونه ماست شامل ماست شاهد (بدون افزودن روغن ماهی آزاد و میکروکپسوله)، ماست حاوی روغن ماهی ۲٪ (وزنی / وزنی) و ماست حاوی روغن ماهی میکروکپسوله ۲٪ (وزنی / وزنی) استفاده گردید. شیر در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه پاستوریزه شد. برای تهیه نمونه‌های ماست، روغن ماهی خام و کپسول تهیه شده در انتهای فرایند پاستوریزاسیون قبل از خنک کردن، به شیر اضافه گردید و دمای شیر به ۴۵ درجه سانتی‌گراد رسانیده شد. نمونه‌ها به وسیله ۵٪ استارتر ماست تلقیح شدند. سپس در ظرف‌های پلی‌استایرن استریل وزن و در دمای ۴۳ درجه سانتی‌گراد انکوبیت شدند. pH نمونه‌ها تا ۴/۷ کاهش یافته و نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. آنالیز مقایسه‌ای پس از تولید و هر هفته به مدت ۲۱ روز انجام شد (Tamjidi et al., 2013).

جهت اندازه گیری pH ماست مقداری از نمونه را در داخل بشر ریخته و الکترود pH متر پس از تنظیم کاملا در داخل نمونه قرار گرفت. حداقل ۴۵ ثانیه نمونه با الکترود در تماس قرار داشت و پس از آن عدد pH قرائت گردید (Iranian National Standard No. 2752, 1994). برای تعیین اسیدیته ماست از رابطه (۳) استفاده شد. ۹ گرم ماست وزن شد و هم وزن آن آب مقطر و ۰/۵ میلی لیتر فنل فتالئین به آن اضافه شد. نمونه با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال عیار سنجی گردید (Iranian National Standard No. 2752, 1994).

جهت اندازه گیری میزان آب اندازی ماست، ۳۰ گرم ماست با دور g ×۲۲۲ به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. مایع شناور روشن خارج و اندازه‌گیری گردید. سپس آب جدا شده به صورت وزن مایع شفاف رویی در ۱۰۰ گرم نمونه ماست محاسبه شد (Ghorbanzade et al., 2022). به منظور محاسبه ظرفیت نگهداری آب (رابطه ۴)، ۲۰ گرم نمونه ماست (Y) به مدت ۱۰ دقیقه در g ×۱۲۵۰ و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. آب پنیر جدا شده (W) و توزین گردید و براساس گرم بر کیلوگرم ماست محاسبه شد (Tamjidi et al., 2013).

برای تعیین ویسکوزیته، با استفاده از ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (مدل LVDV- II+، کشور آمریکا) بر حسب cP اندازه‌گیری شد. در این آزمایش پس از آزمون‌های اولیه اسپیندل شماره ۶۲ به عنوان اسپیندل مناسب جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته انتخاب شد (با توجه به دستورالعمل شرکت سازنده، اسپیندل مناسب جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته، اسپیندلی است که در سرعت مورد نظر گشتاوری بالاتر از ۱۰ درصد را نشان دهد). کلیه آزمون‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد و با شرایط یکسان انجام شد، به‌طوری‌که ویسکوزیته نمونه‌ها در سرعت ۲۰۰ rpm و پس از گذشت ۳۰ ثانیه از چرخش اسپیندل قرائت شد.

رابطه (۲)

$$\text{راندمان درون‌پوشانی} = \frac{\text{روغن میکروکپسوله(۱۰۰ گرم پودر /گرم)}}{\text{کل روغن (۱۰۰ گرم پودر /گرم)}} \times ۱۰۰$$

رابطه (۳)

$$\text{درصد اسیدیته} = \frac{N \times 0.009 \times 100}{M}$$

N: مقدار میلی لیتر سود ۰/۱ نرمال مصرف شده

M: حجم نمونه

رابطه (۴)

$$WHC = (Y - W)/ Y \times 1000$$

In Press

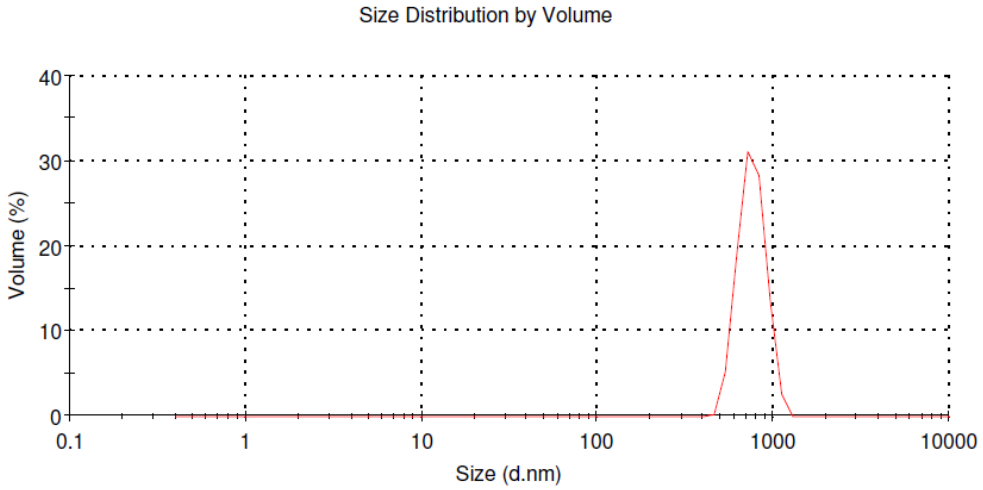
استخراج چربی ماست به روش زبر انجام شد. بدین صورت که نمونه با یک قاشق هم‌زده شد و یکنواخت گردید، ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۰٪ داخل بوتیرومتر ریخته شد و ۱۱/۳ گرم نمونه به آن اضافه شد. سپس ۱ میلی‌لیتر الکل ایزوآمیلیک به آن افزوده و درب بوتیرومتر محکم شد. بوتیرومتر تکان داده شد تا آزمونه در اسید حل شود. پس از همگن کردن محتویات بوتیرومتر، آن را داخل سانتریفیوژ گذاشته و به مدت ۵ دقیقه و ۱۱۰۰ rpm در دمای ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. سپس چربی توسط پیپت پاستور از بوتیرومتر خارج گردید. چربی استخراج شده به وسیله انحلال در n- هگزان، خالص‌سازی گردید. سپس حلال توسط روتاری اواپراتور تحت خلا در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد جدا شد (استاندارد ملی ایران، ۶۹۵). اندازه‌گیری شاخص پراکسید (PV) چربی ماست طبق روش (Ghorbanzade et al., 2017) انجام شد.

برای ارزیابی حسی محصول نهایی از یک گروه پانل متشکل از ۲۰ نفر از دانشجویان گروه صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود استفاده شد. پرسشنامه مورد نظر بر اساس روش هدونیک پنج نقطه‌ای (ASTM, 1969) جهت امتیازدهی به نمونه‌ها در اختیار ارزیابان قرار گرفت. ارزیابان ابتدا مورد آموزش قرار گرفتندو سپس نظرات خود را پس از ارزیابی طعم، بو، بافت، رنگ و مطلوبیت کل تیمارها روی پرسش‌نامه‌ها منتقل کردند.

در تحقیق حاضر از آزمون اسپیلت پلات در واحد زمان در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵٪ =α استفاده شد. برای داده‌های کیفی و ناپارامتریک از آزمون کوروسکال والیس استفاده شد و در صورت معنی‌داری مقایسات زوجی با آزمون من ویتنی یو انجام گرفت. کلیه تجزیه و تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS15 و نمودارهای موجود با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت.

۳. نتایج و بحث

توزیع اندازه کپسول‌های حاوی روغن ماهی در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین قطر کپسول‌های روغن ماهی ۰/۰۴ ± ۰/۸۵ میکرومتر بود که مشابه سایر یافته‌هایی است که محدوده اندازه میکرو و نانوکپسول‌ها را گزارش کرده‌اند(Hasani et al., 2019; Esfahani et al., 2019). Hamed et al. (2019) مشاهده کردند که رابطه‌ای بین اندازه ذرات و راندمان درون‌پوشانی وجود ندارد و آن‌ها غلظت بالای مواد جامد را بر روی اندازه ذرات مؤثرتر دانستند. Azizanbari et al. (2013) تولید کپسول‌های ژلان-کازئینات بارگذاری شده با امگا ۳ را بررسی کرد. بر اساس نتایج آن-ها، کوچکترین اندازه ذرات ۳۸۵ نانومتر گزارش گردید و قطر بیش از ۵۰ درصد ذرات کمتر از ۳۷۲ نانومتر و بیش از ۹۰ درصد ذرات کوچک تر از ۱۱۷۰ نانومتر بود.



شکل ۱- منحنی توزیع اندازه ذرات کپسول‌های حامل روغن ماهی

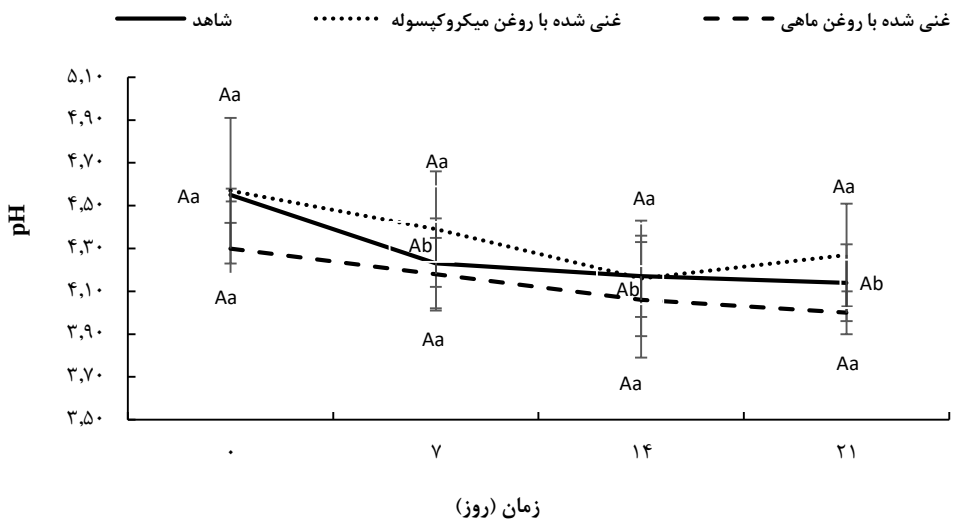
Fig. 1- Particle size distribution curve of capsules carrying fish oil

نتایج Hundre et al. (2015) نشان داد که ترکیبات مختلف دیواره و تکنیک کپسولاسیون هر دو به‌طور معنی‌داری بر روی اندازه، شکل و به‌طور کلی ساختار میکروکپسول‌ها اثر گذار است. با توجه به منحنی توزیع اندازه ذرات پودر، منحنی تک قله‌ای بوده که نشان-دهنده یکنواخت بودن توزیع اندازه ذرات می‌باشد. میانگین قطر ذرات و همچنین شاخص پراکندگی (PDI) که نشان دهنده توزیع اندازه و یکنواختی سیستم است شاخص پراکندگی کپسول حامل روغن ماهی ۰/۰۵ ± ۰/۲۹گزارش گردید که نشان‌دهنده پراکندگی کمتر در اندازه ذرات می‌باشد. توزیع اندازه ذرات به دلیل تاثیر بر میانکنش بین ذرات و نیز خصوصیات رئولوژیک نمونه‌ها و به دنبال آن تاثیر بر پایداری و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی امولسیون‌ها بسیار حائز اهمیت است (Ghorbanzade et al., 2022).

راندمان درون‌پوشانی، تعیین مقدار روغنی است که با موفقیت کپسوله شده و از مقادیر روغن سطحی و روغن کل محاسبه می‌گردد (Ojagh and Hasani, 2018). راندمان درون‌پوشانی یکی از فاکتورهای مهم در تعیین پایداری ترکیبات کپسوله شده می‌باشد، زیرا نشانگر وجود روغن سطحی بر سطح ذرات پودر و توانایی دیواره-ها در جلوگیری از خروج روغن درونی است (Ghorbanzade et al., 2017). در سال‌های اخیر تاکید اصلی کپسولاسیون روغن‌ها و طعم‌دهنده‌های خوراکی بر افزایش راندمان است که مانع از دست رفتن مواد فرار و سبب افزایش مدت ماندگاری محصولات با کاهش مقدار روغن سطحی بر سطح ذرات می‌گردد. راندمان درون‌پوشانی کپسول‌های حامل روغن تولید شده ۰/۲ ± ۸۹/۳ درصد تعیین گردید. مطالعات پیشین دریافتند کاهش در راندمان درون‌پوشانی می-تواند به علت مواد دیواره‌ای ناکافی در تولید ماتریکسی قوی، ایجاد لایه‌های نازک‌تر از مواد دیواره بین قطرات روغن کپسوله و یا بی-ثباتی قطرات امولسیون طی فرایند خشک کردن باشد و افزایش راندمان احتمالا به دلیل تشکیل سریع پوسته بر سطح ذرات می‌باشد. در مطالعه Jafari et al. (2008) رابطه بین تشکیل سریع پوسته بر میزان کم روغن سطحی نشان داده شد، آن‌ها این مسئله را ناشی از آن دانستند که با تشکیل سریع پوسته مواد هسته (روغن ماهی) شانس کمتری در رسیدن به ذرات داشتند. البته باید به این نکته دقت کرد که جداسازی روغن سطحی توسط استخراج با حلال می‌تواند باعث تحریک استخراج روغن کپسوله که نزدیک به سطح میکروکپسول می‌باشند، نیز شود. در نتیجه مقدار روغن سطحی بیشتری نسبت به مقدار واقعی آن گزارش می‌شود. Jafari (2019)، گزارش نمود عوامل زیادی بر راندمان کپسوله‌سازی تأثیر می‌گذارند، از جمله نوع مواد دیوار یا ماده حامل، مواد هسته یا فاز داخلی، نسبت دیوار به هسته، روش کپسول‌سازی و غیره. Jafari (2019) بیان کردند که یک ترکیب به عنوان پوشش به تنهایی نمی‌تواند خواص مورد نیاز را در کپسولاسیون ترکیبات زیست‌فعال ارائه دهد و ترکیب دو ماده دیواره نقش محافظتی بهتری ایفا می‌کند. Ghorbanzade et al. (2022) مشخص نمودند راندمان درون‌پوشانی زمانی که از یک ترکیب به تنهایی به عنوان پوشش استفاده می‌شود، نسبتاً پایین است. Drusch et al. (2012) بیان کردند که تحت شرایط مناسب کپسولاسیون با ترکیب پروتئین (کازئینات سدیم) و کربوهیدرات سبب افزایش راندمان درون‌پوشانی می‌گردد. در تحقیق آن‌ها با افزایش میزان پروتئین (کازئینات) مقدار کارایی افزایش یافت.

تغییرات pH در ماست‌های تولید شده طی ۲۱ روز نگهداری در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطورکه مشاهده می‌شود، مقادیر pH در ماست روندی کاهشی داشت به‌طوری‌که از روز ۷ نگهداری تا روز پایانی کاهش pH معنی دار نبوده است ($p< ۰/۰۵$). مقادیر pH در ماست غنی شده با روغن میکروکپسوله و ماست غنی شده با روغن ماهی نیز کاهش یافت و از روز ۱۴ تا ۲۱ نگهداری در تیمار ماست غنی شده با روغن ماهی میکروکپسوله افزایش pH مشاهده گردید که این افزایش در سطح ($p< ۰/۰۵$) معنی دار نبود.

تغییرات اسیدیته (g/ ۱۰۰g بر حسب اسید لاکتیک) در ماست-های تولید شده طی ۲۱ روز نگهداری در شکل ۳ نشان داده شده است. به طوری‌که میزان اسیدیته در تمامی تیمارها طی نگهداری افزایش یافته است و این افزایش از روز ۱۴ تا پایان دوره نگهداری در تمامی تیمارها معنی دار نبود ($p< ۰/۰۵$). این نتایج با گزارشات Seo et al. (2009) هم‌خوانی داشت. با توجه به رابطه معکوس PH و اسیدیته، از نتایج بدست آمده می توان دریافت که افزودن روغن ماهی در ساختار ماست، روند کاهش pH و افزایش اسیدیته را کند می‌کند. همچنین نتایج تحقیق حاضر با Nejat Pirsaraii et al. (2021) موافق بود که اسیدیته بالاتر پنیر غنی شده با روغن ماهی کپسوله شده را گزارش کرد.

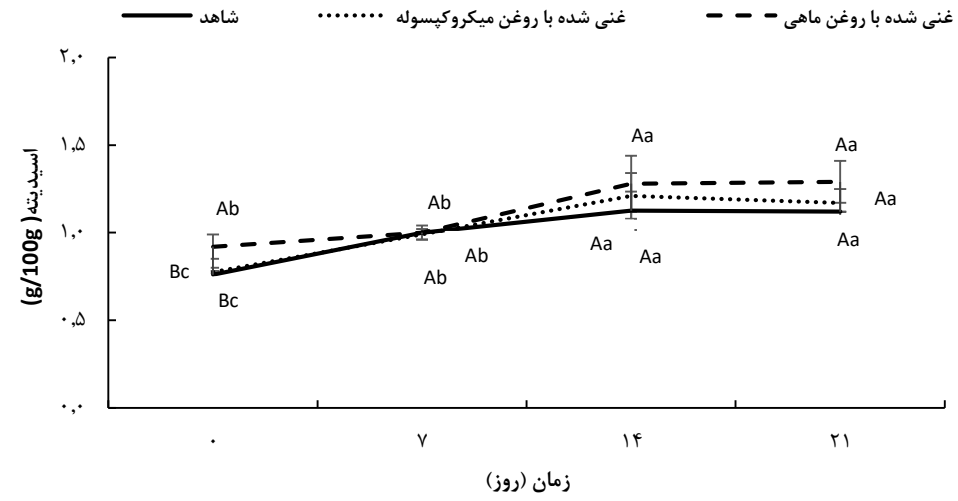


شکل ۲- تغییرات pH ماست‌های تولید شده در طی ۲۱ روز نگهداری

(حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین تیمارها در یک زمان و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد)

Fig. 2- pH changes of produced yogurt during 21 days of storage

(Capital letters indicate the difference between treatments at the same time and small letters indicate the difference between different times in the same treatment)



شکل ۳ -تغییرات اسیدیته ماست‌های تولید شده در طی ۲۱ روز نگهداری

(حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین تیمارها در یک زمان و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد)

Fig. 3 - Changes in the acidity of the produced yogurt during 21 days of storage

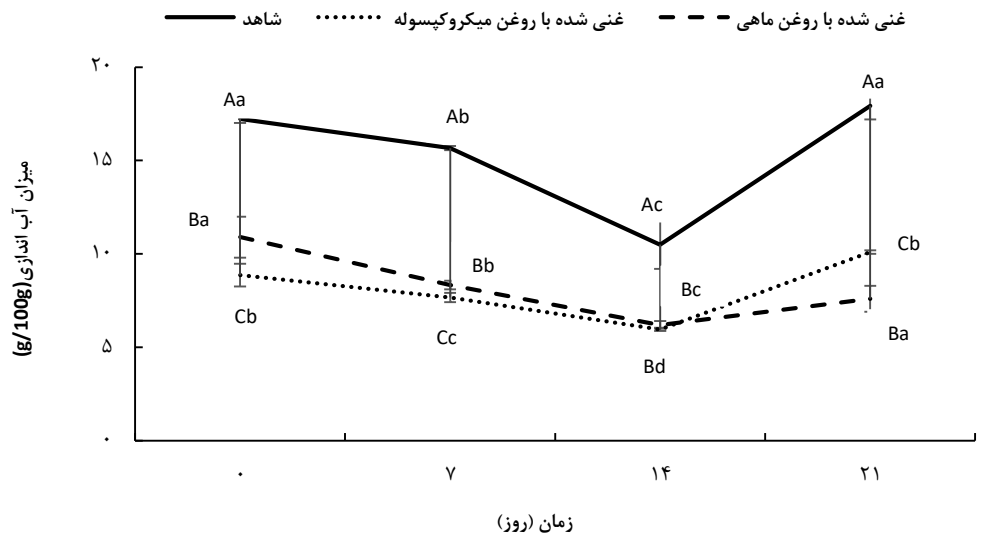
(Capital letters indicate the difference between treatments at the same time and small letters indicate the difference between different times in the same treatment)

علت کاهش pH و افزایش اسیدیته را می‌توان به فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید یا مضر نسبت داد. میکروارگانیسم‌ها با مصرف قند و تولید اسیدهای آلی می‌توانند کاهش pH را به دنبال داشته باشند که به عنوان اسیدیته توسعه یافته بیان می‌شود. با به پایان رسیدن منابع قندی، میکروارگانیسم‌ها پروتئین‌های موجود در محیط را مصرف کرده و این باعث افزایش pH محصول می‌گردد. هم‌چنین میکروارگانیسم‌های موجود در محیط، اسیدهای آلی را مصرف کرده و این عامل نیز منجر به افزایش pH و کاهش اسیدیته محصول می‌گردد.

آب اندازی می‌تواند به عنوان عیب اصلی ماست مشخص شود، به‌طوری‌که سرم بر سطح ژل ظاهر می‌گردد (Ghorbanzade et al., 2022). سینرزیس، آب پس دادن ژل است که منجر به جدا سازی سرم می‌شود. لذا اندازه‌گیری میزان سینرزیس، یکی از مهمترین تست‌های فیزیکی جهت سنجش کیفیت ماست است.

تغییرات میزان آب اندازی (g /۱۰۰ g) در ماست‌های تولید شده طی ۲۱ روز نگهداری در شکل ۴ آورده شده است.

میزان آب اندازی در تمامی تیمارها تا روز ۱۴ نگهداری روندی نزولی داشت، که می‌تواند به علت ایجاد شبکه ژلی متراکم نمونه‌های ماست باشد. بررسی تغییرات سینرزیس نمونه‌ها در طی نگهداری نشان داد، که بیشترین میزان سینرزیس در نمونه‌های شاهد و غنی شده در طی هفته پایانی نگهداری رخ داده است. که علت آن افزایش اسیدیته و همچنین هیدرولیز و هضم پروتئین‌های محلول توسط میکروارگانیسم‌ها با افزایش زمان نگهداری می‌باشد. چراکه پروتئین-های عامل بافت مطلوب، خاصیت خود را از دست داده و پیوند آن‌ها با آب گسسته می‌شود (Nouri et al., 2013). با گذشت زمان در روزها و هفته‌های بعد، میزان سینرزیس در همه نمونه‌ها به دلیل تأثیر pH پایین بر روی میسل‌های کازئین و در نتیجه کاهش میزان ترشح سرم کاهش یافت.



شکل ٤- تغییرات میزان آب اندازی ماست‌های تولید شده در طی ۲۱ روز نگهداری

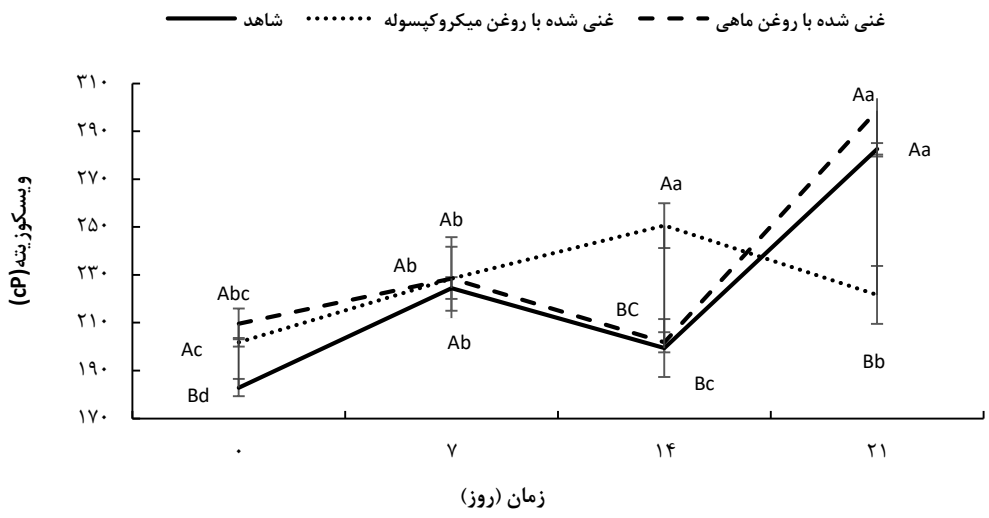
(حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین تیمارها در یک زمان و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد)

Fig. 4- Changes in the syneresis of the produced yogurt during 21 days of storage

(Capital letters indicate the difference between treatments at the same time and small letters indicate the difference between different times in the same treatment)

با توجه به شکل۴ مشاهده می‌شود میزان آب اندازی (سینرزیس) نمونه شاهد در مقایسه با ماست غنی شده با روغن میکروکپسوله و روغن ماهی بالاتر است. از آنجائی‌که در ماست غنی شده با روغن میکروکپسوله ترکیباتی مانند امولسیفایر، روغن و مواد دیواره‌ای موجب افزایش ماده خشک می‌گردند و به علت پایدار کردن شبکه ژل و افزایش ظرفیت اتصال آب اثر مطلوبی بر استحکام ژل ماست و کاهش سینرزیس در نمونه‌های غنی شده دارند. همچنین چربی به سبب افزایش آبگریزی در فاز مایع و برقراری تعادل گروه‌های آبدوست و آبگریز در محیط، آب بیشتری را در خود حبس کرده و از میزان آب اندازی نمونه می‌کاهد. در رابطه با تغییر سینرزیس در طی دوره نگهداری نتایج متفاوتی گزارش شده است. Gumus و Gharibzahedi (2021) در ارزیابی ماست های مکمل با امولسیون های لیپیدی غنی از اسیدهای چرب امگا ۳، گزارش کردند که سینرزیس در تقویت ماست با میکروکپسول‌ها و سیستم‌های امولسیونی که اسیدهای چرب امگا ۳ را به دام می اندازند به طور قابل توجهی کمتر از نمونه‌های ماست حاوی روغن آزاد است. Supavititpatana et al. (2010) نشان دادند که در ماست قالبی میزان سینرزیس در طی دوره نگهداری افزایش می‌یابد. در حالی‌که Barrantes et al. (1996) گزارش نمودند که سینرزیس در طی نگهداری کاهش می‌یابد. Mahdian و Mazaheri Tehrani (2007) نشان دادند که با افزایش ماده خشک، میزان سینرزیس ماست به طور معنی داری کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از تغییرات ویسکوزیته (cP) ماست‌های نگهداری شده طی ۲۱ روز نگهداری در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج به دست آمده مقادیر ویسکوزیته در تیمارهای ماست شاهد و غنی شده با روغن ماهی در طی زمان افزایش می‌یابد که ناشی از بازآرایی پروتئین‌ها و تغییرات اتصالی پروتئین- پروتئین می‌باشد. افزایش هیدراسیون نیز می‌تواند دلیل دیگر افزایش ویسکوزیته با گذشت زمان باشد. در صورتی‌که در تیمار ماست غنی شده با روغن ماهی میکروکپسوله مقادیر ویسکوزیته تا روز ۱۴ نگهداری افزایش داشت و سپس کاهش یافت که می‌توان به هیدرولیز پروتئین‌های محلول توسط میکروارگانیسم‌ها با گذشت زمان نگهداری نسبت داد (Hamed et al., 2019).



شکل ۵- تغییرات ویسکوزیته ماست‌های تولید شده در طی ۲۱ روز نگهداری

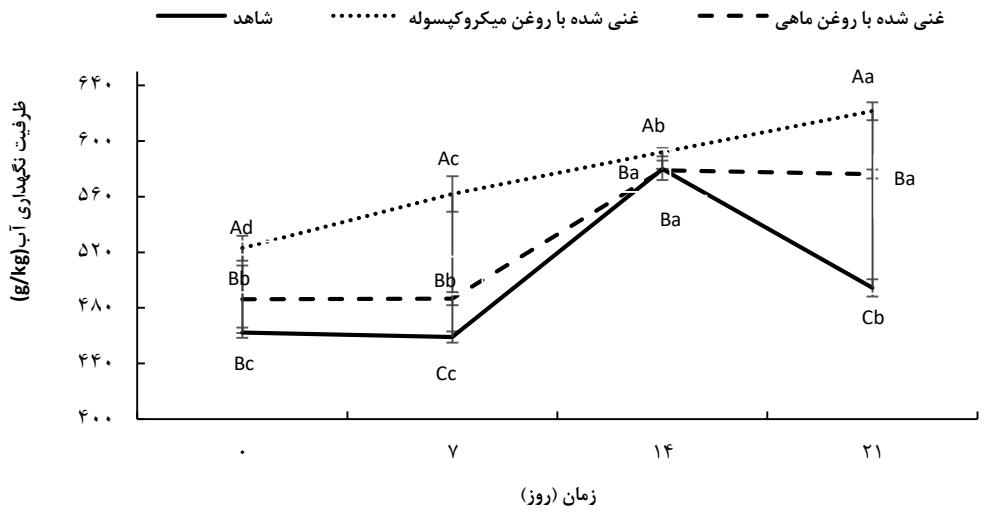
(حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین تیمارها در یک زمان و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد)

Fig. 5- Viscosity changes of produced yogurt during 21 days of storage

(Capital letters indicate the difference between treatments at the same time and small letters indicate the difference between different times in the same treatment)

تغییرات ظرفیت نگهداری آب (g/kg) ماست‌های نگهداری شده طی ۲۱ روز نگهداری در شکل ۶ آورده شده است. نتایج نشان داد که ظرفیت نگهداری آب در تمامی تیمارها با گذشت زمان نگهداری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان ظرفیت نگهداری آب در ماست غنی شده با روغن ماهی میکروکپسوله مشاهده شد. همچنین در تیمار شاهد و غنی شده با روغن ماهی در روز پایانی نگهداری کاهش ناچیزی در میزان ظرفیت نگهداری آب وجود داشت.

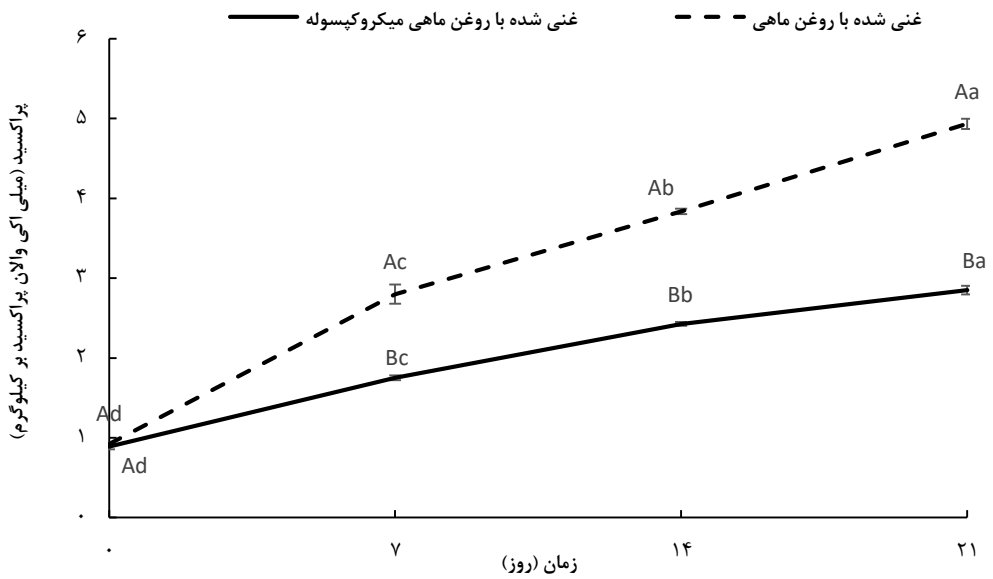
بررسی تغییرات مقدار پراکسید (میلی اکی والان پراکسید بر کیلوگرم روغن) ماست‌های نگهداری شده طی ۲۱ روز نگهداری نشان داد که مقدار پراکسید در تیمارهای ماست غنی شده با روغن ماهی میکروکپسوله و روغن ماهی با گذشت زمان نگهداری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان پراکسید در روز پایانی نگهداری در هر دو تیمار مشاهده شد و مقدار پراکسید در تیمار غنی شده با روغن ماهی طی زمان نگهداری اختلاف معنی داری ($p<0/05$) را با تیمار حاوی روغن میکروکپسوله نشان داد (شکل ۷). به طوری‌که تیمار حاوی روغن ماهی طی دوره نگهداری مقادیر بالاتری از پراکسید را نسبت به تیمار غنی شده با روغن میکروکپسوله داشت. نتایج مطالعه اخیر موافق با تحقیقات Alfaroa et al. (2015) می‌باشد که افزایش معنی داری را در مقدار پراکسید ماست منجمد حاوی روغن سبوس برنج طی دو هفته نگهداری گزارش نمودند. همچنین نتایج تحقیقات Tamjidi et al. (2013) نشان داد پراکسید ماست غنی شده با روغن ماهی سریع‌تر از ماست غنی شده با روغن ماهی میکروکپسوله بود که همسو با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. Zhong et al. (2018) نیز با افزودن روغن ماهی به شکل آزاد و کپسوله شده به ماست، دریافت که مقادیر پراکسید در ماست حاوی روغن ماهی کپسوله شده، پس از ۲۱ روز نگهداری، به طور قابل توجهی کمتر از ماست حاوی روغن آزاد است که با نتایج بدست آمده در تحقیق مطابقت داشت.



شکل ٦- تغییرات ظرفیت نگهداری آب ماست‌های تولید شده در طی ۲۱ روز نگهداری

(حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین تیمارها در یک زمان و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد)

Fig. 6- Changes in the water holding capacity of the produced yogurt during 21 days of storage
(Capital letters indicate the difference between treatments at the same time and small letters indicate the difference between different times in the same treatment)



شکل ۷- تغییرات پراکسید(PV) ماست‌های تولید شده در طی ۲۱ روز نگهداری

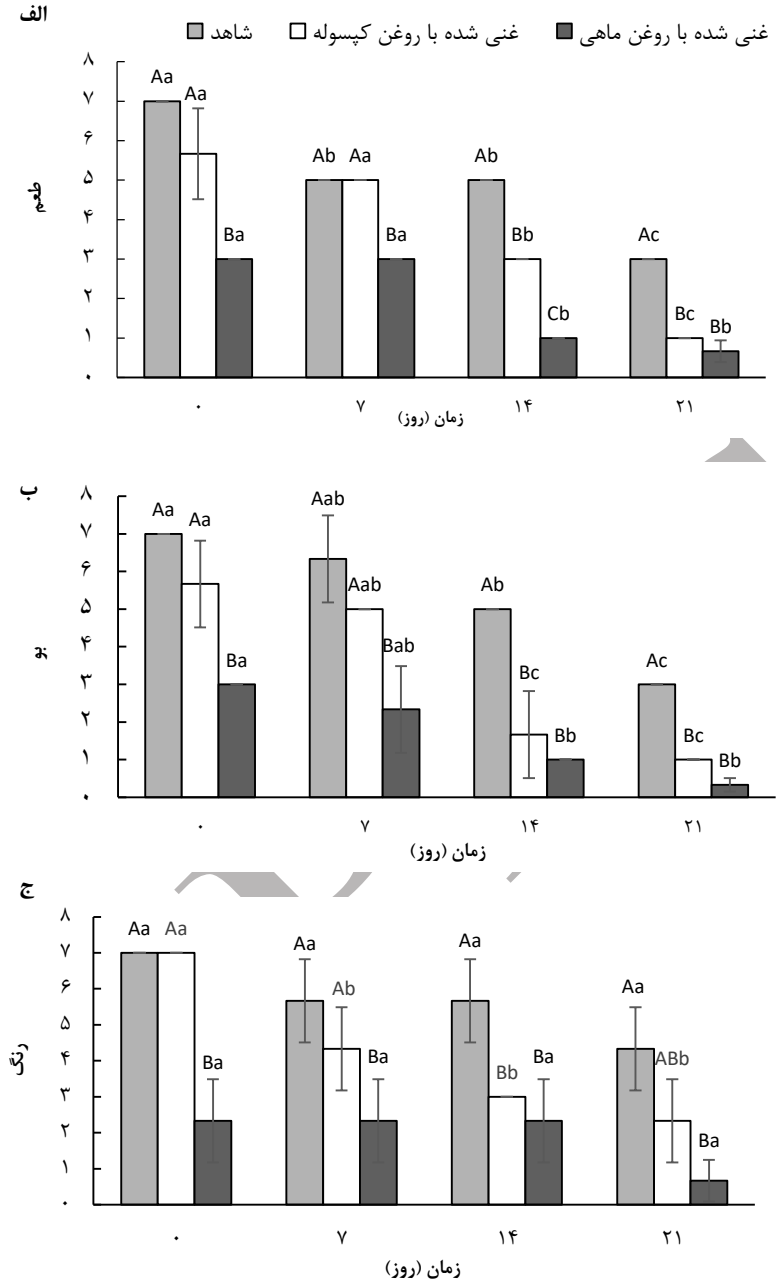
(حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین تیمارها در یک زمان و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد)

Fig. 7- Changes in peroxide (PV) of produced yogurt during 21 days of storage

(Capital letters indicate the difference between treatments at the same time and small letters indicate the difference between different times in the same treatment)

ارزیابی حسی به عنوان روشی مناسب برای برآورد زمان ماندگاری طی دوره نگهداری است. جهت ارزیابی حسی بین تیمارها مشخصه‌های طعم، بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی مورد سنجش قرار گرفت. در تیمار شاهد به جز شاخص رنگ، تمامی شاخص‌ها بین زمان‌های مختلف تفاوت معنی داری نشان داده و با گذشت زمان از امتیازات داده شده کاهش یافت (شکل ۸). لازم به ذکر است امتیاز روزهای هفتم و چهاردهم اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند.

نتایج مربوط به ارزیابی حسی در تیمار ماست غنی شده با روغن میکروکپسوله نشان داد امتیاز شاخص رنگ از روز هفتم تا بیست و یکم نگهداری اختلاف معنی داری نداشت و امتیاز تمامی شاخص‌ها در روز بیست و یکم پایین‌ترین امتیاز را دریافت کرد. مطابق نتایج، شاخص‌های طعم، بو، بافت و پذیرش کلی در تیمار غنی شده با روغن ماهی طی زمان نگهداری تغییرات معنی‌داری ($P< ۰/۰۵$) نشان دادند. در تمامی شاخص‌های مورد ارزیابی به استثنای شاخص بافت با گذشت زمان از امتیازات کاسته شده بود و روزهای نخست و پایانی نگهداری بیشترین و کمترین میزان امتیاز را به خود اختصاص دادند و در تمامی شاخص‌ها بین روزهای چهاردهم و بیست و یکم نگهداری اختلاف معنی داری وجود نداشت ($P< ۰/۰۵$). تغییرات ارزیابی حسی بین سه تیمار نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در روزهای اول و هفتم نگهداری بین تیمار شاهد و ماست غنی شده با میکروکپسول از لحاظ شاخص طعم، بو، بافت و پذیرش کلی و در روز چهاردهم در شاخص‌های بافت و پذیرش کلی اختلاف معنی داری وجود نداشت. نتایج نشان داد شاخص بافت در تمامی تیمارها و شاخص بو و رنگ در تیمارهای ماست غنی شده با روغن کپسوله و روغن ماهی در روزهای چهارهم و بیست و یکم معنی دار نبوده‌اند ($P< ۰/۰۵$).

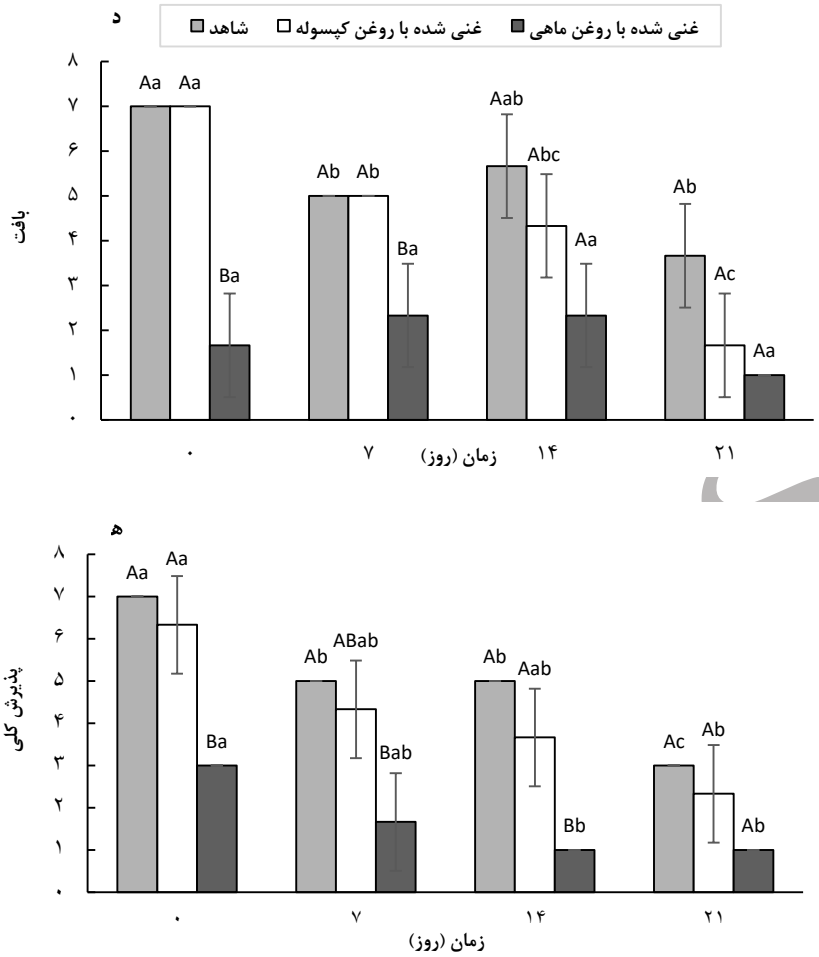


شکل ۸ (الف): شاخص کیفی طعم در تیمارها در زمان‌های مختلف نگهداری؛ (ب): شاخص کیفی بو در تیمارها در زمان‌های مختلف نگهداری؛ (ج): شاخص کیفی رنگ در تیمارها در زمان‌های مختلف نگهداری

(حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین تیمارها در یک زمان و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد)

Fig. 8- (a): Qualitative index of taste in treatments at different storage times; (b): Qualitative odor index in treatments at different times of storage; (c): Quality index of color in treatments at different times of storage

(Capital letters indicate the difference between treatments at the same time and small letters indicate the difference between different times in the same treatment)



ادامه شکل ۸– (د): شاخص کیفی بافت در تیمارها در زمان‌های مختلف نگهداری؛ (ه): شاخص کیفی پذیرش کلی در تیمارها در زمان‌های مختلف نگهداری

(حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بین تیمارها در یک زمان و حروف کوچک نشان دهنده اختلاف بین زمان‌های مختلف در یک تیمار می‌باشد)

Fig. 8- (d): quality index of tissue in treatments at different storage times; (e): Quality index of overall acceptance in treatments at different storage times

(Capital letters indicate the difference between treatments at the same time and small letters indicate the difference between different times in the same treatment)

٤. نتیجه‌گیری نهایی

هدف از این تحقیق تهیه کپسول‌های حاوی روغن ماهی با استفاده از پوشش‌های مختلف جهت غنی سازی ماست بود. یافته-های حاصل از ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی محصول نهایی طی نگهداری نشان داد میزان پراکسید با گذشت زمان افزایش یافت و این روند در تیمار ماست غنی شده با روغن میکروکپسوله کندتر بود.تیمارهای ماست حاوی روغن میکروکپسوله ویسکوزیته و ظرفیت نگهداری آب بالاتر و میزان آب اندازی کمتری نسبت به سایر تیمارها داشتند. نتایج ارزیابی حسی مشخص نمود ماست شاهد در انتهای دوره نگهداری از امتیاز بالاتری در تمامی شاخص‌های کیفی برخوردار بود و از لحاظ شاخص پذیرش کلی بین ماست شاهد و ماست غنی شده با روغن میکروکپسوله اختلاف معنی داری مشاهده نگردید. لذا با توجه به نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر می‌توان از میکروکپسول‌های حاوی روغن ماهی با هدف غنی سازی ماست بدون ایجاد بو و طعم نامطلوب استفاده نمود.

Refrences:

Alfaroa, L., Hayesb, D., Boenekec, C., Xua, Z., Bankstona, D., Bechteld., P.J. and Sathivelab, 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), pp. 1184-1191. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.01.055.

ASTM., 1969. Manual on sensory testing methods. American Society for testing and materials, 1916 Race Street, Philadelphia, pp. 34-42. https://openlibrary.org/books/OL5608114M.

Azizanbari, C., Ghanbarzadeh, B., Hamishehkar, H. and Hosseini, M., 2013. Gellan-caseinate nanocomplexes as a Carrier of omega-3 fatty acids: Study of particle size, rheological properties and encapsulation efficiency. Electronic Journal of Food Processing and Preservation, *5*(2), pp. 19–42. DOI: 20.1001.1.24233544.1392.5.2.2.2. (In Persian).

Barrantes, E., Tamime, A.Y., Sword, A.M., Muir, D.D. and Kaláb, M., 1996. The manufacture of set-type natural yoghurt containing different oils - 2: rheological properties and microstructure. *International Dairy Journal*, *6*, pp. 827-837. DOI:10.1016/0958-6946(96)00010-6.

Bligh, E. G. and Dyer, W. J., 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, *37*, pp. 911–917. DOI: 10.1139/o59-099.

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. *Journal of Food Engineering*, *115*, pp. 443–451. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033.

Chen, H., and Zhong, Q., 2014. Processesimproving the dispersibility of spray-dried zein nanoparticles using sodium caseinate. *Food Hydrocolloids*, *35*, pp. 358-366. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.06.012.

Drusch, S., Serfert, Y., Berger, A., Shaikh, M.Q., Ratzke, K., Zaporojtchenko, V. and Schwarz, K., 2012. New insights into the microencapsulation properties of sodium Caseinate and hydrolyzed casein. *Food Hydrocolloids*, *27*, pp. 332-338. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.10.001.

Esfahani, R., Jafari, S. M., Jafarpour, A. and Dehnad, D., 2019. Loading of fish oil into nanocarriers prepared through gelatin gum Arabic complexation. *Food Hydrocolloids*, *90*, pp. 291–298. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.044.

Feizollahi, E., Hadian, Z. and Honarvar, Z., 2018. Food fortification with omega-3 fatty acids; microencapsulation as an addition method. *Current Nutrition & Food Science*, *14*(2), pp. 90–103. DOI:10.2174/1573401313666170728151350.

Gallardo, G., Guida, L., Martínez, V., López, M. C., Bernhardt, D., Blasco, R., Pedroza-Islas, R. and Hermida, L. G., 2013. Microencapsulation of linseed oil by spray drying for functional food application. *Food Research International*, *52*(2), pp. 473-482. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.01.020.

Ghorbanzade, T., Jafari, S. M., Akhavan, S. and Hadavi, R., 2017. Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. *Food Chemistry*, *216*, pp. 146–152. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.08.022.

Ghorbanzade, T., Akhavan-Mahdavi, S., Kharazmi, M., Ibrahim, S. and Jafari, S.M., 2022. Loading of fish oil into β-cyclodextrin nanocomplexes for the production of a functional yogurt. *Food Chemistry,15*, *pp.* 100406. DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100406.

Goksen, G., Fabra, M. J., Ekiz, H. I. and Lopez-Rubio, A., 2020. Phytochemical-loaded electrospun nanofibers as novel active edible films: Characterization and antibacterial efficiency in cheese slices. *Food Control*, *112*, pp. 107133. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107133.

Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G., 2012. A new technique for spray-dried encapsulation of lycopene. *Drying Technology*, *30* (6), pp. 641-652. DOI: 10.1080/07373937.2012.655871.

Gowda, A., Sharma, V., Goyal, A., Singh, A. and Arora, S., 2018. Process optimization and oxidative stability of omega-3 ice cream fortified with flaxseed oil microcapsules. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(5), pp. 1705–1715. DOI: 10.1007/s13197-018-3083-4.

Gumus, C. E. and Gharibzahedi, S. M. T., 2021. Yogurts supplemented with lipid emulsions rich in omega-3 fatty acids: new insights into the

fortification, microencapsulation, quality properties, and health-promoting effects. *Trends in Food Science & Technology*, *110*, pp. 267–279. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.016.

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 Journal of Chemistry*, *62*, pp. 301-314. DOI: 10.21608/EJCHEM.2019.18621.2149.

Hasani, Sh., Ojagh, M., Hasani, M. and Ghorbani, M., 2019. Sensory and Technological Properties of Developed Functional Bread Enriched by Microencapsulated Fish Oil. *Progress in nutrition*, *21*(1), pp. 406-415. DOI: 10.23751/pn.v21i1-S.6202.

Hundre, S.Y., Karthik, P. and Anandharamakrishnan, C., 2015. Effect of whey protein isolate and beta cyclodextrin wall systems on stability of microencapsulated vanillin by spray-freeze drying Method. *Food Chemistry*, *174*, pp. 16-24. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.016.

Iranian National Standard No. 2752, 1994. Method for determining total acidity and pH in milk and its products. second edition. (In Persian).

Jafari, S.M., Assadpoor, E., Bhandari, B. and He, Y., 2008. Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Research International*, *41*, pp. 172–183. DOI: 10.1016/j.foodres.2007.11.002.

Jafari, S. M., 2019. *Biopolymer Nanostructures for Food Encapsulation Purposes*: Academic Press.

Long, Z., Zhao, Q., Liu, T., Kuang, W., Xu, J. and Zhao, M., 2012. Role and properties of guar gum in sodium caseinate solution and sodium caseinate stabilized emulsion. *Food Research International*, *49*, pp. 545–552. DOI: 10.1016/j.foodres.2012.07.032.

Mahdavi, S. A., Sadeghi, R., Faridi, A., Hedayati, S., Shaddel, R., Dima, C., and Jafari, S. M. 2022. Nanodelivery systems for d-limonene; techniques and applications. *Food Chemistry*, 132479. DOI:10.1016/j.foodchem.2022.132479.

Mahdian, E. and Mazaheri Tehrani, M., 2007. Evaluation the effect of milk total solids on the relationship between growth and activity of starter cultures and quality of concentrated yoghurt. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, *2* (5), pp. 587-592.

Miguel, G. A., Jacobsen, C., Prieto, C., Kempen, P. J., Lagaron, J. M., Chronakis, I. S. and García-Moreno, P. J., 2019. Oxidative stability and physical properties of mayonnaise fortified with zein electrosprayed capsules loaded with fish oil. *Journal of Food Engineering*, *263*, pp. 348–358. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.07.019.

Nejat Pirsaraii, E., Zakipour Rahimabadi, E., Babakhani, A. and Aminpour Daphchahi, E., 2021. Quality characteristics and fatty acid profile of Siahmezgi cheese fortified by encapsulated fish oil. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *17*(5), pp. 761-772. DOI: 10.22067/ifstrj.v17i5.87590. (In Persian).

- Nouri, M., Ezzatpanah, H., Abbasi, S. and Behmadi, H., 2013. Investigating the stability of chemical and physical characteristics of non-fat set yoghurt containing textured milk during the storage time. *Food Sciences and Technology*, *10* (40), pp. 66-57. URL: //fsct.modares.ac.ir/article-7-6845-fa.html. (In Persian).

Ojagh, S. M. and Hasani, S. 2018. Characteristics and oxidative stability of fish oil nanoliposomes and its application in functional bread. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *12*(2), pp. 1084–1092. DOI: 10.1007/s11694-018-9724-5.

Pegg, R.B. and Shahidi, F., 2007. Encapsulation, stabilization, and controlled release of food ingredients and bioactives. In M. S. Rahman (Ed.), *Handbook of Food Preservation*, 2nd Edition Boca Raton, FL: CRC Press, 509-586

Pourashouri, P., Shabanpour, B., Kordjazi, M. and Jamshidi, A., 2020. Characteristic and shelf life of fish sausage: Fortification with fish oil through emulsion and gelled emulsion incorporated with green tea extract. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*(12), pp. 4474–4482. DOI: 10.1002/jsfa.10488.

Pourashouri, P., Shabanpour, B., Heydari, S. and Raeisi, S., 2021. Encapsulation of fish oil by carrageenan and gum tragacanth as wall materials and its application to the enrichment of chicken nuggets. *LWT*, *137*, pp. 110334. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110334.

Rocha, G.A., Favaro-Trindade, C.S. and Grosso, C.R.F., 2012. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(1), 37–42. DOI: 10.1016/j.fbp.2011.01.001.

In Press

Seo, M.H., Lee, S.Y., Chang, Y.H. and Kwak, H.S., 2009. Physicochemical, microbial, and sensory properties of yogurt supplemented with nanopowdered chitosan during storage. *American Dairy Science Association*, *92*, pp. 5907–5916. DOI: 10.3168/jds.2009-2520.

Shegelman, I., Vasilev, A., Shtykov, A., Sukhanov, Y., Galaktionov, O. and Kuznetsov, A., 2019. Food fortification-problems and solutions. Eurasian. *Journal of Biosciences*, *13* (2), pp. 1089-1100.

Sridhar, K., Sharma, M., Choudhary, A., Kumar Dikkala, P. and Narsaiah, K., 2021. Fish and garlic oils hybridized microcapsules: Fortification in functional bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*, p. 15346. DOI: 10.1111/jfpp. 15346.

Supavititpatana, P., Wirjantoro, T.I. and Raviyan, P., 2010. Characteristics and shelf-life of corn milk yogurt. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, *9*(1), pp. 133–149. Chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/. https://cmuj.cmu.ac.th/uploads/journal_list_index/417710011.pdf

Tamjidi, F., Nasirpour, A. and Shahedi, M., 2013. Mixture Design Approach for Evaluation of Fish Oil Microencapsulation in Gelatin-Acacia Gum Coacervates. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, *62*, pp. 444–449. DOI: 10.1080/00914037.2012.719138.

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), pp. 56. DOI: 10.3390/molecules23010056.

In press

Journal of Marine Science and Technology

***In Press* / DOI: 10.22113/JMST.2023.402559.2537**

Available Online: *http://jmst.kmsu.ac.ir*

Original Article

Study of the microcapsules containing fish oil properties and its effects on physicochemical and sensory properties of functional yogurt

Maryam Hasani[*1], Mahin Rigi [2], Moazameh Kordjazi [3], Shirin Hasani [3]

1. Department of Food Science and Technology, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran.
2. Department of Aquatic Science, Hamon International Wetland Research Institute, Zabol Research Institute, Zabol, Iran.
3. Department of Sea Food Processing, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Corresponding author Email: mhasani81@yahoo.com

Received: 16 June 2023 **Revise Date:** 2 July 2023 **Accepted:** 9 July 2023

DOI: 10.22113/JMST.2023.402559.2537

Abstract

Omega-3 fatty acids play a role in achieving optimal health and protection against various diseases. Although the instability and oxidation of its essential fatty acids have limited its use in food products. Among the strategies used to avoid these challenges, the encapsulation method has been the most successful method. Therefore, the present study was performed with the aim of improving the stability of fish oil with encapsulation method and producing a useful product. In this research, the encapsulation of fish oil with a ratio of 3:1 (oil: coating) was done with malt dextrin, sodium casein ate, protein whey concentrates and modified starch (HICAP) by freeze drying. Yogurt enriched with encapsulated fish oil powder was produced and the physicochemical and sensory properties of the product were evaluated. The results showed that the particle size, particle dispersion index and encapsulation efficiency of the capsules were 0.85µm, 0.29 and 90%, respectively. Also, the results showed that the syneresis of yogurt enriched with microcapsules was lower and the water holding capacity was higher than the control and sample enriched with non-encapsulated fish oil. The increase of peroxide values in yogurt enriched with encapsulated fish oil had a slower trend than yogurt enriched with non-encapsulated oil. In all treatments, pH decreased and acidity increased. The sensory evaluation of the treatments revealed that the quality parameters of the yogurt treatments decreased during storage, and the yogurt treatments enriched with microencapsulated oil and the control treatment did not show any significant difference in terms of overall acceptance.

Key words: fish oil, encapsulation, peroxide, yogurt, sensory evaluation.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons. org/licenses/ by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In Press