



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 Rigi², Moazameh Kordjazi³, Shirin Hasani³

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. However, 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. Therefore, the present study was performed to improve the stability of fish oil with the encapsulation method and produce a useful product. In this research, the encapsulation of fish oil with a ratio of 3:1 (oil: coating) with malt dextrin, sodium casein, 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 0.85 μ m, 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 in 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 were enriched with microencapsulated oil, and the control treatment did not show any significant difference in terms of overall acceptance.

Keywords: fish oil, encapsulation, peroxide, yogurt, sensory evaluation.

1. INTRODUCTION

Oils with high concentrations of polyunsaturated fatty acids (PUFAs) have been increasingly used in food production. Among these, fish oil is an important source of polyunsaturated fatty acids with multiple double bonds, particularly omega-3 fatty acids, mainly EPA (eicosapentaenoic acid) and DHA (docosahexaenoic acid) (Shegelman et al., 2019). Encapsulation is a technique used to trap bioactive compounds within a wall structure

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.



made of a carrier material (Mahdavi et al., 2022). Given the high potential of our country in harvesting Kilka fish, the oil from this fish can be optimally utilized for fortifying food products, leading to the development of high-quality products with extended shelf life. Therefore, this study aims to prepare and evaluate fish oil-loaded microcapsules with a polysaccharide-protein complex coating for yogurt fortification and to assess its physicochemical and sensory properties.

2. MATERIALS AND METHODS

Kilka fish (*Clupeonella cultriventris caspia*) were purchased in spring from Khazar Production Company, located in Bandar Anzali. The oil extraction from Kilka fish was performed using the (Bligh and Dyer, 1959). To prepare the emulsion, various wall materials were dissolved in distilled water, including maltodextrin (15 g), sodium caseinate (20 g), whey protein concentrate (20 g), and modified starch (20 g). The total solid concentration was set at 20% (w/w). Fish oil was then added to the solution at a ratio of 3:1 (Gallardo et al., 2013). The prepared emulsions were dried in a freeze-dryer under reduced pressure. Polydispersity index (PDI) was measured (Gallardo et al., 2013). Encapsulation efficiency was calculated using the (Ojagh and Hasani, 2018). To prepare functional yogurt, raw milk with 1.5% fat content was used to produce three samples: control yogurt, yogurt containing 2% (w/w) free fish oil, and yogurt containing 2% (w/w) microencapsulated fish oil. Comparative analyses were performed after production and weekly for 21 days (Tamjidi et al., 2013). Acidity was determined using the (Iranian National Standard No.2752, 1994). Syneresis (Ghorbanzade et al., 2022) and water-holding capacity of the yogurt were measured using (Tamjidi et al., 2013). Viscosity was assessed using a Brookfield rotational viscometer and expressed in centipoise (cP). Yogurt fat extraction was conducted and the peroxide value (PV) of the yogurt fat was also determined (Ghorbanzade et al., 2017). Sensory evaluation of the final product was carried out by a 20-member panel. This study was designed as a split-plot test in time within a completely randomized design.

3. RESULTS

The polydispersity index (PDI) of the fish oil-loaded capsules was reported as 0.29 ± 0.05 . The encapsulation efficiency of the produced oil capsules was determined to be $89.3 \pm 0.2\%$. Changes in acidity (g/100 g lactic acid) in the produced yogurts during 21 days of storage indicated that acidity increased in all treatments over time. However, this increase was not significant ($p < 0.05$) from day 14 to the end of the storage period. The syneresis rate in all treatments decreased until day 14 of storage, and the syneresis level in the control yogurt was higher than in yogurts enriched with microencapsulated fish oil and free fish oil. Evaluation of syneresis changes during storage revealed that the highest syneresis occurred in the control and enriched samples during the final week of storage. According to the results, the viscosity values of the control and free fish oil-enriched yogurt treatments increased over time. However, in the yogurt treatment enriched with microencapsulated fish oil, the viscosity increased until day 14 of storage and then decreased. The water-holding capacity of all treatments improved over time. Additionally, the peroxide value in yogurts enriched with microencapsulated and free fish oil increased with storage time, with a slower increase observed in the microencapsulated fish oil-enriched yogurt. It was also found that there was no significant difference in overall acceptability between the control yogurt and the yogurt enriched with microencapsulated fish oil.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Encapsulation efficiency is one of the key factors in determining the stability of encapsulated compounds, as it reflects the presence of surface oil on powder particles and the ability of wall materials to prevent the leakage of encapsulated oil (Ghorbanzade et al., 2017). In the study by Jafari et al. (2008), a relationship was demonstrated between the rapid formation of a shell and a reduced surface oil content. They attributed this to the fact that a quickly formed shell reduces the likelihood of core materials (such as fish oil) reaching the particle surface. Based on the results of the acidity test, it can be concluded that incorporating fish oil into yogurt slows down the pH reduction and acidity increase. These findings are consistent with those of Nejat Pirsarai et al. (2021), who reported higher acidity levels in cheese enriched with encapsulated fish oil. Syneresis can be considered a primary defect in yogurt, where serum appears on the gel's surface (Ghorbanzade et al., 2022). The highest syneresis

levels in the samples occurred during the final week of storage, attributed to increased acidity and the hydrolysis and digestion of soluble proteins by microorganisms over time. This process causes proteins responsible for the desired texture to lose their properties, breaking their bonds with water (Nouri et al., 2013). In yogurt enriched with microencapsulated fish oil, viscosity increased up to day 14 of storage and then declined, which can be attributed to the hydrolysis of soluble proteins by microorganisms as storage time progressed (Hamed et al., 2019). Tamjidi et al. (2013) demonstrated that the peroxide value in yogurt enriched with free fish oil increased more rapidly than in yogurt enriched with microencapsulated fish oil, consistent with the findings of this study. The objective of this research was to develop fish oil-containing microcapsules using different coatings to fortify yogurt. Based on the results, microcapsules containing fish oil can be used for yogurt enrichment without introducing undesirable odors or flavors.

5. REFERENCES:

- 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.
- 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.foodchem.2022.100406.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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: //fsc.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.
- 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.
- 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.



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 پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۶

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2023.402559.2537

چکیده

اسیدهای چرب امگا ۳ در دستیابی به سلامت مطلوب و محافظت در برابر انواع بیماری‌ها 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 موفق‌ترین 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، کاربونات سدیم، کنستانتره آب پنیر و نشاسته اصلاح شده توسط خشک کن انجامی 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 ۰/۸۵ میکرومتر، 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 غنی شده با روغن ماهی کپسوله شده 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.



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 شبکه 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 به‌عنوان موفق‌ترین روش پیشنهاد شده است (Gowda et al., 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 کپسوله‌سازی، فاکتورهای مهمی هستند که در ارزیابی کپسوله‌سازی باید در نظر گرفته شوند (Mahdavi et al., 2022).

مالتودکسترین‌ها ترکیباتی هستند که به دلیل توانایی تشکیل شبکه در روش‌های مختلف کپسولاسیون به‌عنوان ماده دیواره‌ای مورد توجه است. بالا بودن راندمان درون‌پوشانی توسط مالتودکسترین، پایین بودن گرانیوی 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، معمولاً در ترکیب با مواد بیوپلیمری دیگری همچون نشاسته‌های اصلاح شده و پروتئین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Goula and Adamopoulos, 2012).

کنستانتره پروتئین آب پنیر (WPC) به‌طور گسترده در امولسیون‌های غذایی به‌عنوان امولسیفایر/ تثبیت کننده استفاده می‌شود، بطوری که نقش مهمی در مقاومت قطرات در برابر لخته شدن و ادغام در طول ذخیره‌سازی 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 پایدار 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 اصلاح شده می‌باشد، که از ذرت مومی تهیه می‌گردند و اختصاصاً مناسب جهت کپسولاسیون می‌باشند. کازئینات سدیم به‌عنوان یک پلی‌مر آمفی‌فیلیک عالی، به‌طور وسیعی جهت بهبود بافت، مدت زمان ماندگاری و یا ارزش تغذیه‌ای امولسیون‌های روغن در آب و به جهت دارا بودن خصوصیات عملکردی و فیزیکی ایده‌آل، خصوصیات آمفی‌فیلیک و امولسیون‌کنندگی جهت کپسولاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد (Long et al., 2012; Chen and Zhong, 2014).

غنی‌سازی محصولات غذایی با روغن ماهی به روش درون‌پوشانی می‌تواند راهی برای افزایش در دسترس بودن آن و بهبود سلامت مصرف‌کننده 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 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 به‌عنوان 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 غنی‌سازی 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 تغذیه‌ای بسیار بالای روغن ماهی و اثرات مفید آن بر سلامتی، با افزایش پایدارسازی روغن این ماهی در برابر اکسیداسیون توسط تکنیک کپسولاسیون می‌توان به نحو بهینه‌ای از روغن این ماهی به منظور

گزارش گرديد (Bligh and Dyer, 1959). پس از انجام مراحل استخراج، روغن زرد رنگ با بازده ۵/۱ درصد به دست آمد.

جهت تشخيص پروفایل و مقدار اسيدهاى چرب در روغن ماهى كيلكا، از گاز کروماتوگراف: Agilent- 6890, USA، ستون: SGE BPX 70; 120 m × 0.25 mm × 0.20 μm، دتكتور: FID، حرارت انژكتور: ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد، حرارت دتكتور: ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، حرارت ستون: ۲۲۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به ازای افزایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه، ميزان تزریق: ۱ ميكروليتر، جريان گاز ازت: ۰/۹ و ۱ ميكروليتر استانداردهاى اسيد چرب تزریق و زمان اقامت آنها تعيين گرديد، سپس نمونه‌ها تزریق، شناسايى و تعيين درصد شدند. پروفایل اسيدهاى چرب و همچنين مجموع اسيدهاى چرب و نسبت آنها در روغن ماهى كيلكا (*Clupeonella cultriventris caspia*) در جدول (۱) نشان داده شده است.

ابتدا جهت تهيه امولسيون، تركيبات مختلف مواد ديواره‌اى شامل مالتودكسترين (۱۵ گرم)، كازئينات سدیم (۲۰ گرم)، كنستانتره پروتئين آب پنير (۲۰ گرم) و نشاسته اصلاح شده (۲۰ گرم) در آب مقطر حل گرديد. مالتودكسترين و نشاسته اصلاح شده (Hi-Cap100) به صورت جداگانه در آب ديونيزه ۴۰ درجه سانتی‌گراد با مگنت هم‌زده و تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد سرد گرديد. كازئينات سدیم و كنستانتره آب پنير در آب ديونيزه ۵۵ درجه سانتی‌گراد با مگنت هم‌زده شد. سپس تا دمای محيط سرد گرديد. تمامی نمونه‌ها يك روز قبل از تهيه امولسيون توليد شدند. در تمامی نمونه ها از ۱ گرم توتئين ۸۰ به ازای ۱۰۰ گرم روغن ماهى در هنگام تهيه امولسيون استفاده گرديد و آزيد سدیم ۰/۰۲ درصد (وزنى / حجمی) به امولسيون به عنوان يك ماده ضد ميكروبی اضافه شد. غلظت كل ماده جامد حل شده ۲۰٪ (وزنى / وزنى) در نظر گرفته شد. سپس روغن ماهى به نسبت ۳:۱ به محلول اضافه و با هموژنايزر اولتراتوركس به مدت ۵ دقيقه با دور ۱۵۰۰۰ rpm كاملا هموژن شده و امولسيونی يكنواخت به- دست آمد (Gallardo et al., 2013).

غنيسازى فراورده‌هاى غذايى استفاده نمود كه منجر به ايجاد محصولاتى با كيفيت و عمر نگهدارى بالا می‌شود (Pegg and Shahidi, 2007). بنابر اين هدف از اين پژوهش، تهيه و بررسى ريزكپسول‌هاى حامل روغن ماهى با پوشش كمپلكس پلى ساكاريد-پروتئين جهت غنيسازى ماست و ارزيايى خصوصيات فيزيكوشيميايى و حسى آن می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

ماهى كيلكا (*Clupeonella cultriventris caspia*) در فصل بهار از شركت خزر توليد واقع در شهرستان بندر انزلى خريدارى گرديد. كلريد منيزيم از شركت لوبا شيمى و توتئين ۸۰ از شركت سيگما آلدریچ تهيه شد. ساير مواد شيميايى مورد استفاده با درجه آزمایشگاهی از شركت Merck خريدارى گرديد. مالتو دكسترين (۲۰-۱۸ DE) از شركت Kirsh pharma كشور آلمان، كازئينات سدیم و كنستانتره آب پنير از شركت Friesland Campina كشور هلند، نشاسته اصلاح شده با نام تجارى Hi-Cap 100™ از شركت National Starch كشور آلمان تهيه گرديد.

جهت استخراج روغن از ماهى كيلكا، ۱۰۰ گرم نمونه با استفاده از آسیاب برقى خرد گرديد و با ۱۰ میلی‌ليتر كلروفرم و ۲۰۰ میلی‌ليتر متانول به يك بشر ۵۰۰ میلی‌ليتری انتقال يافت و برای ۴-۲ دقيقه به خوبى مخلوط گرديد. سپس ۱۰۰ میلی‌ليتر آب مقطر اضافه و ۳۰ ثانيه هم زده شدند. ۱۰۰ میلی‌ليتر آب مقطر اضافه و ۳۰ ثانيه مخلوط گرديدند. مخلوط مورد نظر با قياف بوختر حاوى كاغذ صافى صاف شده و حاصل صافى به يك دكانتور ۵۰۰ میلی‌ليتری انتقال يافت. جداسازى بعد از جداسدن كامل دو فاز از يكديگر صورت گرفت. لايه بالایی حاوى آب و متانول و لايه زيرين حاوى كلروفرم بود (حجم كلروفرم حداقل ۱۵۰ ليتر می‌باشد كه حاوى روغن خالص شده است). لايه كلروفرمی به بالن ته گرد ۲۵۰ میلی‌ليتری انتقال يافت و با استفاده از روتارى در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد تحت خلا حلال آن تبخير و بازده استخراج بر حسب درصد

جدول ۱- پروفایل اسيد چرب روغن ماهى كيلكا

Table 1- Fatty acid profile of Kilka fish oil

روغن ماهى كيلكا (%)	اسيدهاى چرب
3.83 ± 0.17	C14: 0
19.73 ± 2.26	C16: 0
6.74 ± 0.47	C16: 1
4.27 ± 0.21	C18: 0
26.77 ± 1.73	C18: 1
2.27 ± 0.07	C18: 2n-6
2.10 ± 0.30	C18: 3n-3
2.63 ± 0.17	C20: 1n-9
7.03 ± 0.29	C20: 5n-3 (EPA)

$$1.29 \pm 0.10$$

$$16.10 \pm 1.34$$

C22: 5n-3 (DPA)

C22: 6n-3 (DHA)

SFA = 31.59%

MUFA = 39.31%

PUFA = 29.08%

$\omega 3/\omega 6 = 1.4\%$

Polyene Index = 0.92%

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

رابطه (۱)

شد. برای استخراج روغن آزاد، ۱۵ میلی‌لیتر 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 (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 پلی-استایرن 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 اندازه‌گیری pH ماست مقداری از نمونه را در داخل بشر ریخته و الکتروود pH متر پس از تنظیم کاملاً در داخل نمونه قرار گرفت. حداقل ۴۵ ثانیه نمونه با الکتروود 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 میلی‌لیتر فنل فتالین به آن اضافه شد. نمونه با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال عیار

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 کاملاً درب بسته در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا آزمایشات فیزیکوشیمیایی 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 دی‌اتیل اتر و ۵۰ میلی‌لیتر هگزان، در مرحله دوم: ۱۰ میلی‌لیتر اتانول، ۵۰ میلی‌لیتر دی‌اتیل اتر و ۵۰ میلی‌لیتر هگزان، در مرحله سوم: ۵۰ میلی‌لیتر دی‌اتیل اتر و ۵۰ میلی‌لیتر هگزان. بعد از فیلتراسیون از طریق کاغذ صافی حاوی سولفات سدیم بدون آب، حلال توسط روتاری اوپراتور تبخیر گردید. سپس روغن جمع‌آوری و تا رسیدن به وزن ثابت توسط بخار نیتروژن خشک

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 سانتی‌گراد و با شرایط یکسان انجام شد، به طوری که ویسکوزیته نمونه‌ها در سرعت ۲۰۰ rpm و پس از گذشت ۳۰ ثانیه از چرخش اسپیندل قرائت شد.

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

رابطه (۲)

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

رابطه (۳)

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

M: حجم نمونه

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

رابطه (۴)

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 کاملاً تصادفی انجام شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۵٪ 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 0.85 ± 0.04 میکرومتر بود که مشابه سایر یافته‌هایی است که محدوده اندازه میکرو و نانوکپسول‌ها را گزارش کرده‌اند (Hasani et al., 2019; Hamed et al., 2019). مشاهده کردند که رابطه‌ای بین اندازه ذرات و راندمان درون پوشانی وجود ندارد

سنجی گردید (Iranian National Standard No. 2752, 1994).

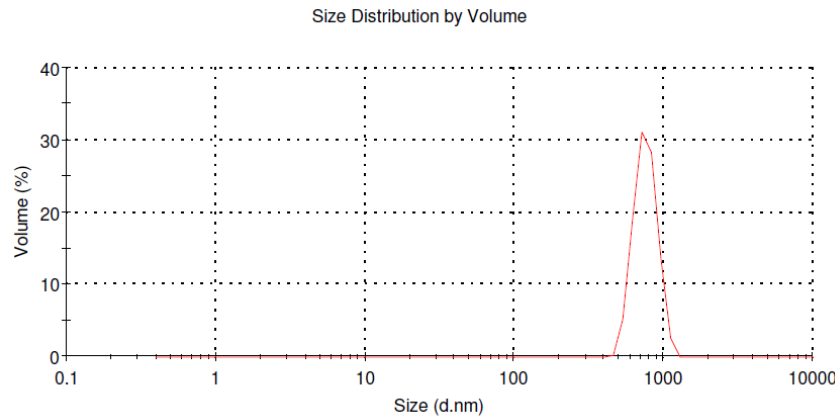
جهت اندازه‌گیری میزان آب اندازه‌گیری ماست، ۳۰ گرم ماست با دور ۲۲۲×g به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. مایع شناور روشن خارج و اندازه‌گیری گردید. سپس آب جدا شده به صورت وزن مایع شفاف رویی در ۱۰۰ گرم نمونه ماست محاسبه شد (Ghorbanzade et al., 2022). به منظور محاسبه ظرفیت نگهداری آب (رابطه ۴)، ۲۰ گرم نمونه ماست (Y) به مدت ۱۰ دقیقه در $1250 \times g$ 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).

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 نمونه 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 گرفتند و سپس نظرات خود را

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.

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 آن‌ها، کوچکترین



شکل ۱- منحنی توزیع اندازه ذرات کپسول‌های حامل روغن ماهی
Fig. 1- Particle size distribution curve of capsules carrying fish oil

روغن سطحی بر سطح ذرات می‌گردد. راندمان درون‌پوشانی کپسول-های حامل روغن تولید شده $۰/۲ \pm ۸۹/۳$ درصد تعیین گردید. مطالعات پیشین دریافتند کاهش در راندمان درون‌پوشانی می‌تواند به علت مواد دیواره‌ای ناکافی در تولید ماتریکسی قوی، ایجاد لایه‌های نازک‌تر از مواد دیواره بین قطرات روغن کپسوله و یا بی‌ثباتی قطرات امولسیون طی فرایند خشک کردن باشد و افزایش راندمان احتمالاً 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 دیواره یا ماده حامل، مواد هسته یا فاز داخلی، نسبت دیواره به هسته، روش کپسول‌سازی و غیره. Jafari (2019) بیان کردند که یک ترکیب به عنوان پوشش به تنهایی نمی‌تواند خواص مورد نیاز را در کپسول‌سازی 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)

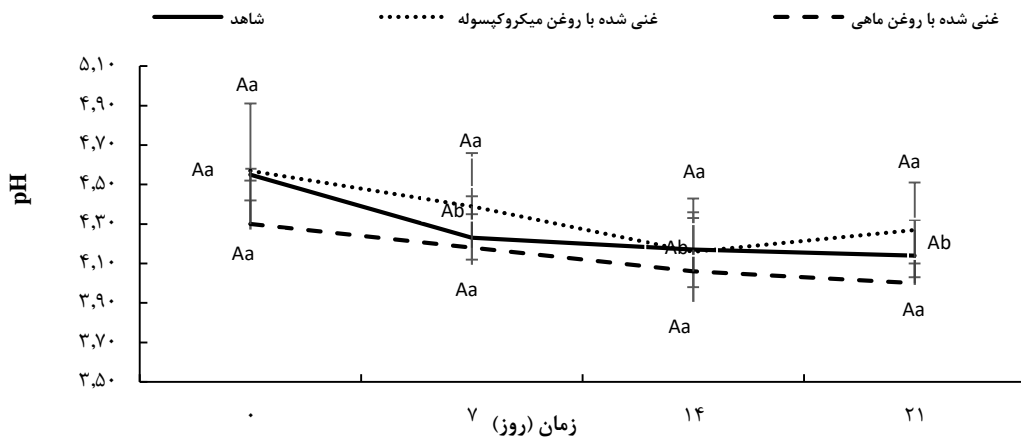
نتایج مطالعه Hundre et al. (2015) نشان داد که ترکیبات مختلف دیواره و تکنیک کپسول‌سازی هر دو به‌طور معنی‌داری بر روی اندازه، شکل و به‌طور کلی ساختار میکروکپسول‌ها اثر گذار است. با توجه به منحنی توزیع اندازه ذرات پودر، منحنی تک قله‌ای بوده که نشان‌دهنده یکنواخت بودن توزیع اندازه ذرات می‌باشد. میانگین قطر ذرات و همچنین شاخص پراکندگی (PDI) که نشان دهنده توزیع اندازه و یکنواختی سیستم است شاخص پراکندگی کپسول حامل روغن ماهی $۰/۰۵ \pm ۲۹/۰$ گزارش گردید که نشان‌دهنده پراکندگی کمتر در اندازه ذرات می‌باشد. توزیع اندازه ذرات به دلیل تأثیر بر میانگین بین ذرات و نیز خصوصیات رئولوژیک نمونه‌ها و به دنبال آن تأثیر بر پایداری و ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی 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 دیواره‌ها در جلوگیری از خروج روغن درونی است (Ghorbanzade et al., 2017). در سال‌های اخیر تأکید اصلی کپسول‌سازی روغن‌ها و طعم-دهنده‌های خوراکی بر افزایش راندمان است که مانع از دست رفتن مواد فرار و سبب افزایش مدت ماندگاری محصولات با کاهش مقدار

pH در ماست روندى كاهشى داشت به طورى كه از روز ۷ نگهدارى تا روز پايانى كاهش pH معنى دار نبوده است ($p < 0.05$). مقادير pH در ماست غنى شده با روغن ميكروكپسوله و ماست غنى شده با روغن ماهى نيز كاهش يافت و از روز ۱۴ تا ۲۱ نگهدارى در تيمار ماست غنى شده با روغن ماهى ميكروكپسوله افزايش pH مشاهده گرديد كه اين افزايش در سطح ($p < 0.05$) معنى دار نبود.

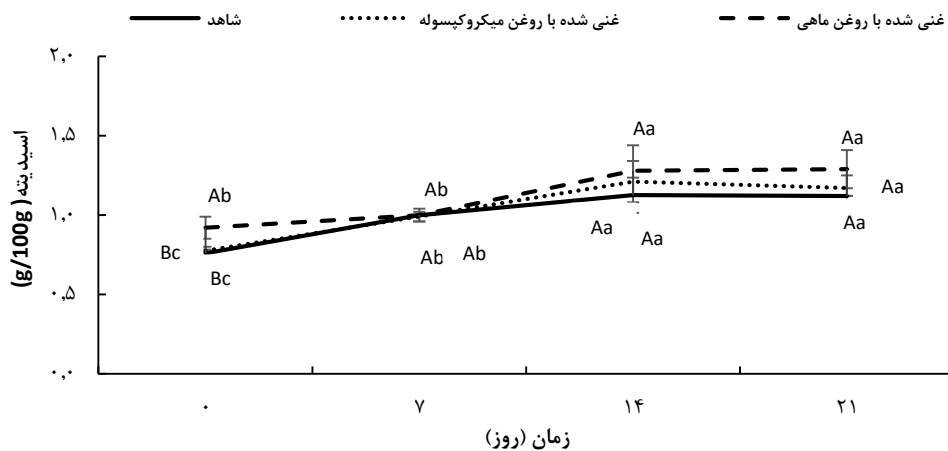
بيان كردند كه تحت شرايط مناسب كپسولاسيون با تركيب پروتئين (كازئينات سدويم) و كربوهيدرات سبب افزايش راندمان درون پوشانى مى گردد. در تحقيق آن‌ها با افزايش ميزان پروتئين (كازئينات) مقدار كارايى افزايش يافت.

تغييرات pH در ماست‌هاى توليد شده طى ۲۱ روز نگهدارى در شكل (۲) نشان داده شده است. همانطور كه مشاهده مى شود، مقادير



شكل ۲- تغييرات pH ماست‌هاى توليد شده در طى ۲۱ روز نگهدارى (حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بين تيمارها در يك زمان و حروف كوچك نشان دهنده اختلاف بين زمان‌هاى مختلف در يك تيمار مى باشد)

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)



شكل ۳- تغييرات اسيديته ماست‌هاى توليد شده در طى ۲۱ روز نگهدارى (حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بين تيمارها در يك زمان و حروف كوچك نشان دهنده اختلاف بين زمان‌هاى مختلف در يك تيمار مى باشد)

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)

و هفته‌هاى بعد، ميزان سينريزيس در همه نمونه‌ها به دليل تاثير pH پايين بر روى ميلسل‌هاى كازئين و در نتيجه کاهش ميزان ترشح سرم كاهش يافت.

با توجه به شكل ۴ مشاهده مى‌شود ميزان آب اندازى (سينريزيس) نمونه شاهد در مقايسه با ماست غنى شده با روغن ميكروكپسوله و روغن ماهى بالاتر است. از آنجائى كه در ماست غنى شده با روغن ميكروكپسوله تركيباتى مانند امولسيفاير، روغن و مواد ديواره‌اى موجب افزايش ماده خشك مى‌گردند و به علت پايدار كردن شبكه ژل و افزايش ظرفيت اتصال آب اثر مطلوبى بر استحكام ژل ماست و کاهش سينريزيس در نمونه‌هاى غنى شده دارند. همچنين چربى به سبب افزايش آبگريزى در فاز مابع و برقرارى تعادل گروه‌هاى آبدوست و آبگريز در محيط، آب بيشترى را در خود حبس كرده و از ميزان آب اندازى نمونه مى‌كاهد. در رابطه با تغيير سينريزيس در طى دوره نگهدارى نتايج متفاوتى گزارش شده است. Gumus و Gharibzahedi (2021) در ارزيابى ماست‌هاى مكمل با امولسيون‌هاى ليپيدى غنى از اسيدهاى چرب امگا ۳، گزارش كردند كه سينريزيس در تقويت ماست با ميكروكپسول‌ها و سيستم‌هاى امولسيونى كه اسيدهاى چرب امگا ۳ را به دام مى‌اندازند به طور قابل توجهى كمتر از نمونه‌هاى ماست حاوى روغن آزاد است. Supavitpatana et al. (2010) نشان دادند كه در ماست قالبى ميزان سينريزيس در طى دوره نگهدارى افزايش مى‌يابد. در حالى كه Barrantes et al. (1996) گزارش نمودند كه سينريزيس در طى نگهدارى كاهش مى‌يابد. Mahdian و Mazaheri Tehrani (2007) نشان دادند كه با افزايش ماده خشك، ميزان سينريزيس ماست به طور معنى دارى كاهش مى‌يابد.

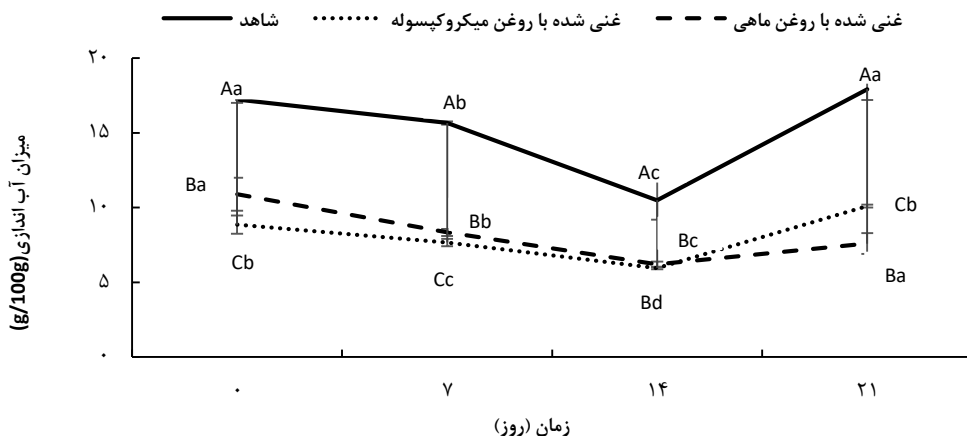
نتايج حاصل از تغييرات ويسكوزيته (cP) ماست‌هاى نگهدارى شده طى ۲۱ روز نگهدارى در شكل (۵) نشان داده شده است. طبق نتايج به دست آمده مقادير ويسكوزيته در تيمارهاى ماست شاهد و غنى شده با روغن ماهى در طى زمان افزايش مى‌يابد كه ناشى از بازآرايى پروتئين‌ها و تغييرات اتصالى پروتئين- پروتئين مى‌باشد. افزايش هيدراسيون نيز مى‌تواند دليل ديگر افزايش ويسكوزيته با گذشت زمان باشد. در صورتى كه در تيمار ماست غنى شده با روغن ماهى ميكروكپسوله مقادير ويسكوزيته تا روز ۱۴ نگهدارى افزايش داشت و سپس كاهش يافت كه مى‌توان به هيدروليز پروتئين‌هاى محلول توسط ميكروارگانيسم‌ها با گذشت زمان نگهدارى نسبت داد (Hamed et al., 2019).

تغييرات اسيديته (g/۱۰۰g) بر حسب اسيد لاکتيك) در ماست‌هاى توليد شده طى ۲۱ روز نگهدارى در شكل (۳) نشان داده شده است. به طورى كه ميزان اسيديته در تمامى تيمارها طى نگهدارى افزايش يافته است و اين افزايش از روز ۱۴ تا پايان دوره نگهدارى در تمامى تيمارها معنى دار نبود ($p < 0.05$). اين نتايج با گزارشات Seo et al. (2009) هم‌خوانى داشت. با توجه به رابطه معكوس PH و اسيديته، از نتايج بدست آمده مى‌توان دريافت كه افزودن روغن ماهى در ساختار ماست، روند كاهش pH و افزايش اسيديته را كم مى‌كند. همچنين نتايج تحقيق حاضر با Nejat Pirsaraii et al. (2021) موافق بود كه اسيديته بالاتر پيىر غنى شده با روغن ماهى كپسوله شده را گزارش كرد.

علت كاهش pH و افزايش اسيديته را مى‌توان به فعاليت ميكروارگانيسم‌هاى مفيد يا مضر نسبت داد. ميكروارگانيسم‌ها با مصرف قند و توليد اسيدهاى آلى مى‌توانند كاهش pH را به دنبال داشته باشند كه به عنوان اسيديته توسعه يافته بيان مى‌شود. با به پايان رسيدن منابع قندى، ميكروارگانيسم‌ها پروتئين‌هاى موجود در محيط را مصرف كرده و اين باعث افزايش pH محصول مى‌گردد. همچنين ميكروارگانيسم‌هاى موجود در محيط، اسيدهاى آلى را مصرف كرده و اين عامل نيز منجر به افزايش pH و كاهش اسيديته محصول مى‌گردد.

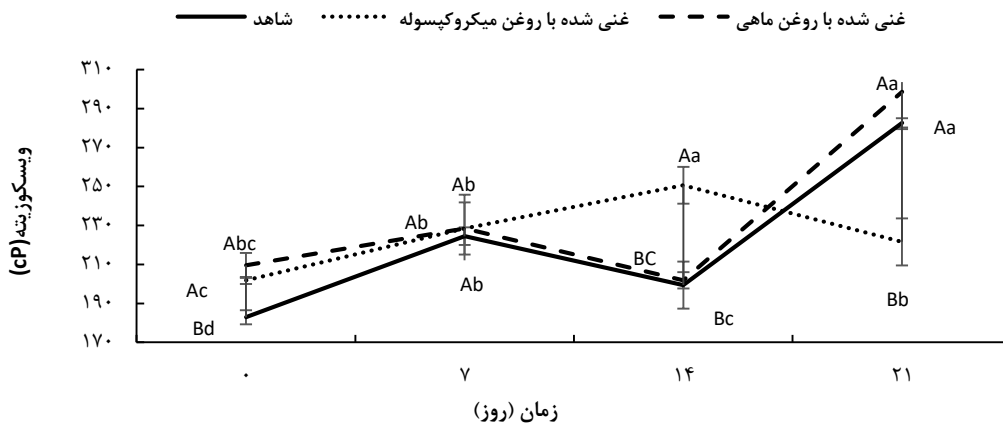
آب اندازى مى‌تواند به عنوان عيب اصلى ماست مشخص شود، به طورى كه سرم بر سطح ژل ظاهر مى‌گردد (Ghorbanzade et al., 2022). سينريزيس، آب پس دادن ژل است كه منجر به جدا سازى سرم مى‌شود. لذا اندازه‌گيرى ميزان سينريزيس، يكى از مهمترين تست‌هاى فيزيكى جهت سنجش كيفيت ماست است. تغييرات ميزان آب اندازى (g/۱۰۰g) در ماست‌هاى توليد شده طى ۲۱ روز نگهدارى در شكل (۴) آورده شده است.

ميزان آب اندازى در تمامى تيمارها تا روز ۱۴ نگهدارى روندى نزولى داشت، كه مى‌تواند به علت ايجاد شبكه ژلى متراكم نمونه‌هاى ماست باشد. بررسى تغييرات سينريزيس نمونه‌ها در طى نگهدارى نشان داد، كه بيشترين ميزان سينريزيس در نمونه‌هاى شاهد و غنى شده در طى هفته پايانى نگهدارى رخ داده است. كه علت آن افزايش اسيديته و همچنين هيدروليز و هضم پروتئين‌هاى محلول توسط ميكروارگانيسم‌ها با افزايش زمان نگهدارى مى‌باشد. چراكه پروتئين‌هاى عامل يافت مطلوب، خاصيت خود را از دست داده و پيوند آن‌ها با آب گسسته مى‌شود (Nouri et al., 2013). با گذشت زمان در روزها



شکل ۴- 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)



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)

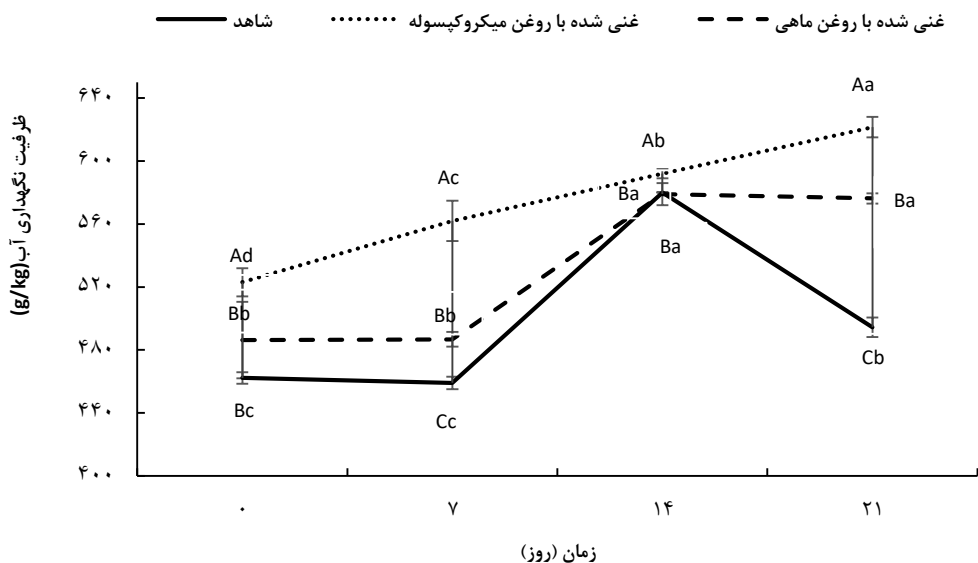
افزایش یافت، به طوری که بیشترین میزان ظرفیت نگهداری آب در ماست غنی شده با روغن ماهی میکروکپسوله مشاهده شد. همچنین

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

تيمار غنى شده با روغن ميكروكپسوله داشت. نتايج مطالعه اخير موافق با تحقيقات Alfaroa et al. (2015) مى‌باشد كه افزايش معنى دارى را در مقدار پراكسيد ماست منجمد حاوى روغن سبوس برنج طى دو هفته نگهدارى گزارش نمودند. همچنين نتايج تحقيقات Tamjidi et al. (2013) نشان داد پراكسيد ماست غنى شده با روغن ماهى سريع‌تر از ماست غنى شده با روغن ماهى ميكروكپسوله بود كه همسو با نتايج تحقيق حاضر مى‌باشد. Zhong et al. (2018) نيز با افزودن روغن ماهى به شكل آزاد و كپسوله شده به ماست، دريافت كه مقادير پراكسيد در ماست حاوى روغن ماهى كپسوله شده، پس از ۲۱ روز نگهدارى، به طور قابل توجهى كمتر از ماست حاوى روغن آزاد است كه با نتايج بدست آمده در تحقيق مطابقت داشت.

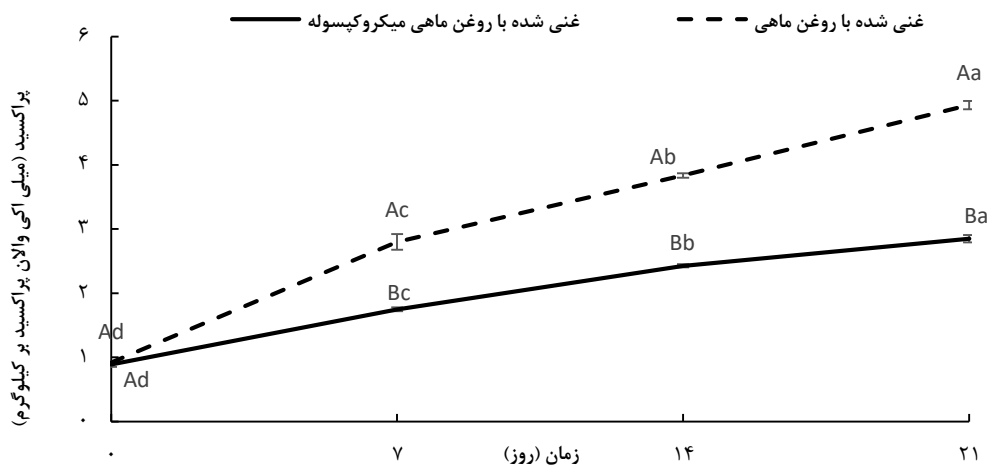
در تيمار شاهد و غنى شده با روغن ماهى در روز پايانى نگهدارى کاهش ناچيزى در ميزان ظرفيت نگهدارى آب وجود داشت.

بررسى تغييرات مقدار پراكسيد (ميلي اكى والان پراكسيد بر كيلوگرم روغن) ماست‌هاى نگهدارى شده طى ۲۱ روز نگهدارى نشان داد كه مقدار پراكسيد در تيمارهاى ماست غنى شده با روغن ماهى ميكروكپسوله و روغن ماهى با گذشت زمان نگهدارى افزايش يافت، به طورى كه بيشترين ميزان پراكسيد در روز پايانى نگهدارى در هر دو تيمار مشاهده شد و مقدار پراكسيد در تيمار غنى شده با روغن ماهى طى زمان نگهدارى اختلاف معنى دارى ($p < 0.05$) را با تيمار حاوى روغن ميكروكپسوله نشان داد (شكل ۷). به طورى كه تيمار حاوى روغن ماهى طى دوره نگهدارى مقادير بالاترى از پراكسيد را نسبت به



شكل ۶- تغييرات ظرفيت نگهدارى آب ماست‌هاى توليد شده در طى ۲۱ روز نگهدارى (حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بين تيمارها در يك زمان و حروف كوچك نشان دهنده اختلاف بين زمان‌هاى مختلف در يك تيمار مى‌باشد)

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)

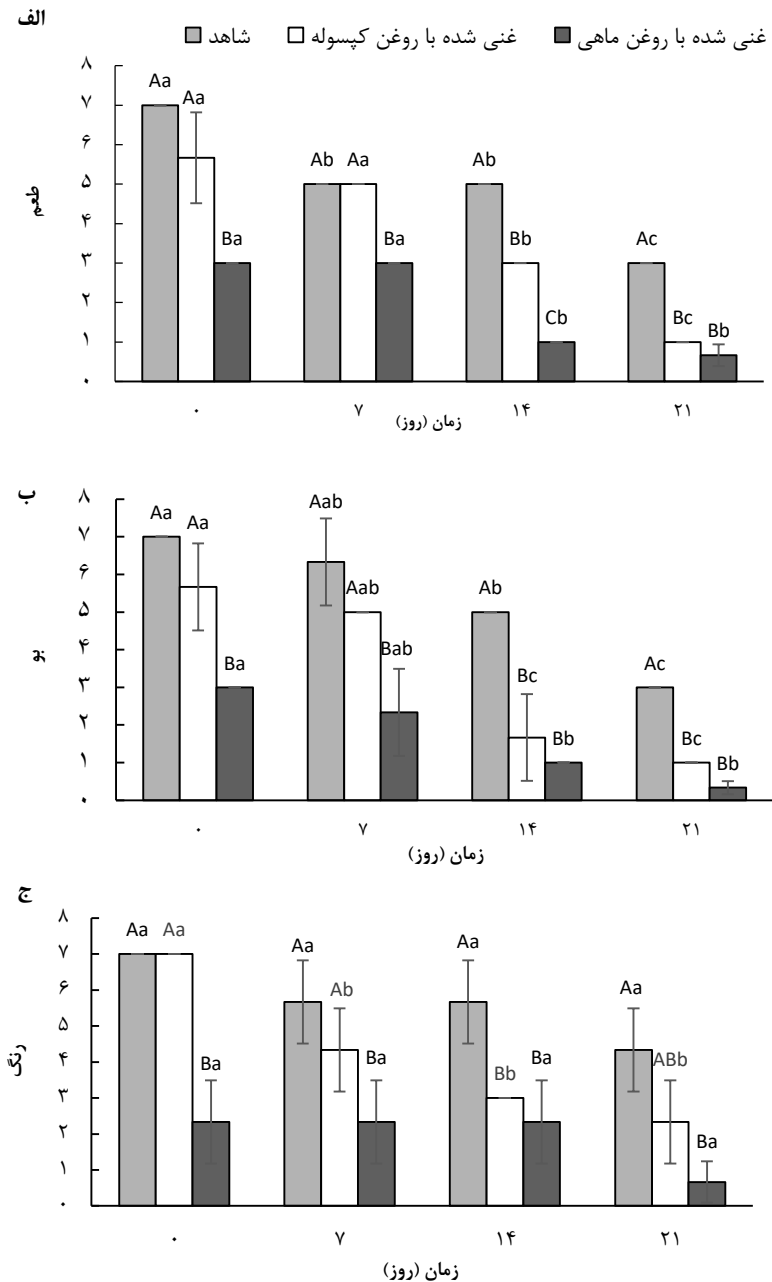
شاخص‌های بافت و پذیرش کلی اختلاف معنی داری وجود نداشت. نتایج نشان داد شاخص بافت در تمامی تیمارها و شاخص بو و رنگ در تیمارهای ماست غنی شده با روغن کپسوله و روغن ماهی در روزهای چهارم و بیست و یکم معنی دار نبوده‌اند ($P < 0.05$).

۴. نتیجه‌گیری نهایی

هدف از این تحقیق تهیه کپسول‌های حاوی روغن ماهی با استفاده از پوشش‌های مختلف جهت غنی سازی ماست بود. یافته‌های 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 و اسکوزیت و ظرفیت نگهداری آب بالاتر و میزان آب اندازه‌گیری 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.

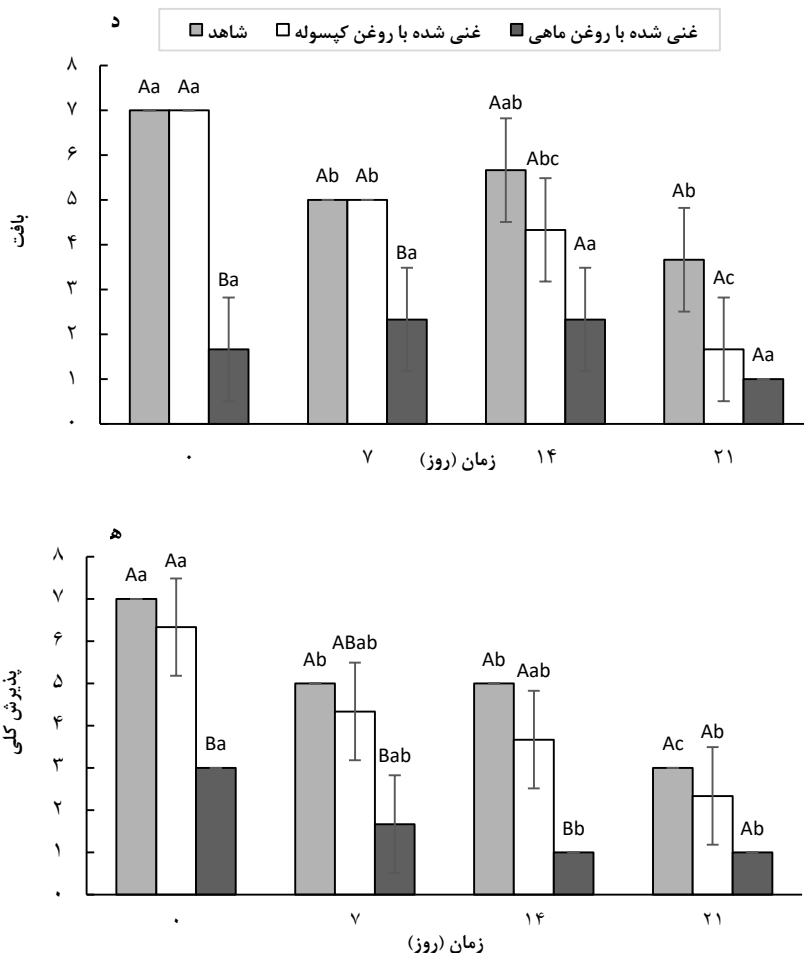
ارزیابی حسی به عنوان روشی مناسب برای برآورد زمان ماندگاری طی دوره نگهداری است. جهت ارزیابی حسی بین تیمارها مشخصه‌های طعم، بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی مورد سنجش قرار گرفت. در تیمار شاهد به جز شاخص رنگ، تمامی شاخص‌ها بین زمان‌های مختلف تفاوت معنی داری نشان داده و با گذشت زمان از امتیازات داده شده کاهش یافت (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 معنی داری ($P < 0.05$) 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 ($P < 0.05$). 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



شكل 8 (الف): شاخص كيفى طعم در تيمارها در زمان‌هاى مختلف نگهدارى؛ (ب): شاخص كيفى بو در تيمارها در زمان‌هاى مختلف نگهدارى؛ (ج): شاخص كيفى رنگ در تيمارها در زمان‌هاى مختلف نگهدارى (حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بين تيمارها در يك زمان و حروف كوچك نشان دهنده اختلاف بين زمان‌هاى مختلف در يك تيمار مى‌باشد)

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 شكل ۸- (د): شاخص كيفى بافت در تيمارها در زمان‌هاى مختلف نگهدارى؛ (ه): شاخص كيفى پذيرش كلى در تيمارها در زمان-هاى مختلف نگهدارى (حروف بزرگ نشان دهنده اختلاف بين تيمارها در يك زمان و حروف كوچك نشان دهنده اختلاف بين زمان‌هاى مختلف در يك تيمار مى‌باشند)

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)

References:

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. Processes improving 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.foodchem.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/p.n.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 Pirsarai, 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: //fsc.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.
- 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.