Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics

Online ISSN: 2345-427X
Print ISSN: 2345-4288

Effect of addition of fish oil nanoliposomes on the technological and nutrition quality of beef burgers over storage at 4 °C

Sadena Ghoturi[1], Seyed Mahdi Ojagh[*2], Maryam Hasani[*3], Alireza Alishahi[4], Shirin Hasani[5]

1. M.Sc. Graduate of Sea Food Processing, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sadena.gh.sg@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Sea Food Processing, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: ojagh@gau.ac.ir
3. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Food Science and Technology, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran. E-mail: mhasani81@yahoo.com
4. Associate Prof., Dept. of Sea Food Processing, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: seafood1144@yahoo.com
5. Ph.D. Graduate of Sea Food Processing, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shirin.hasani88@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 02.23.2023
Revised: 03.27.2023
Accepted: 04.03.2023

Keywords:
Fish oil,
Low fat hamburger,
Nanoencapsulation,
Nano liposome,
Nutritional quality

ABSTRACT

The present study was conducted considering the importance of low-fat meat products such as hamburgers with reduced calories and the production of nanoliposomes carrying fish oil as a substitute for fat in the nutritional quality of hamburgers and the production of a beneficial product. For this purpose, the physicochemical properties of nanoliposomes were investigated and nanoliposomes contain fish oil and non-liposome fish oil (5 and 10%) were substituted for fat in the hamburger formulation. The values of pH, protein, fat, ash of the raw sample, caloric content, water holding capacity, moisture, and cooking efficiency were calculated. The particle size and poly dispersity index of liposome were reported as 507.3 nm and 0.567, respectively, with a uniform distribution. The zeta potential of liposomes was evaluated as -12.9 mV and the efficiency of nanocoating was 76.8%. The results showed that the use of nanoliposomes in burgers has increased the water holding capacity and cooking efficiency, as well as reducing the total calories and improving the protein and fat oxidation. Also, after the cooking process, it improved the texture and color. The sensory evaluation of the samples showed that the addition of nano liposomes contains fish oil in the burger received the highest score in terms of texture, taste, smell, color, and overall acceptance. According to the results, it is possible to use encapsulated fish oil in nanoliposomes with the aim of enriching meat burgers and producing burgers with fewer calories without unpleasant odors and tastes.

Cite this article: Ghoturi, Sadena, Ojagh, Seyed Mahdi, Hasani, Maryam, Alishahi, Alireza, Hasani, Shirin. 2023. Effect of addition of fish oil nanoliposomes on the technological and nutrition quality of beef burgers over storage at 4 °C. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 12 (1), 143-162.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/japu.2023.21122.1750
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان

شاپا آنلاین: ۲۳۴۵-۴۲۷X
شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۴۲۸۸

اثر افزودن نانولیپوزوم‌های حامل روغن ماهی بر خواص تکنولوژیکی و کیفیت تغذیه‌ای همبرگر با چربی کاهش‌یافته طی نگهداری در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد)

سادنا قوطوری[۱]، سید مهدی اجاق*[۲]، مریم حسنی*[۳]، علی‌رضا عالیشاهی[۴]، شیرین حسنی[۵]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: sadena.gh.sg@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: ojagh@gau.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران. رایانامه: mhasani81@yahoo.com

۴. دانشیار گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: seafood1144@yahoo.com

۵. دانش‌آموخته دکتری فرآوری محصولات شیلاتی، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: shirin.hasani88@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

واژه‌های کلیدی:
روغن ماهی،
کیفیت تغذیه‌ای،
نانولیپوزوم،
همبرگر کم‌چرب

چکیده

پژوهش حاضر، با توجه به اهمیت فرآورده‌های‌گوشتی کم‌چرب مانند همبرگر با انرژی کاهش‌یافته و تولید نانولیپوزوم‌های حامل روغن ماهی به عنوان جایگزین کردن چربی بر کیفیت تغذیه‌ای همبرگر و تولید محصولی فراسودمند انجام شد. بدین‌منظور خواص فیزیکوشیمیایی نانولیپوزوم‌ها بررسی شده و نانولیپوزوم‌های حامل روغن ماهی و روغن ماهی غیر لیپوزومه (۵ و ۱۰ درصد) در فرمولاسیون همبرگر جایگزین چربی شد. مقادیر pH، پروتئین، چربی، خاکستر نمونه خام، میزان کالری، ظرفیت نگهداری آب، رطوبت و هم‌چنین بازده پخت محاسبه شد. اندازه و توزیع اندازه ذرات لیپوزوم‌ها به ترتیب ۵۰۷/۳ نانومتر و ۰/۵۶۷ با توزیع یکنواخت گزارش گردید. پتانسیل زتای لیپوزوم‌ها ۱۲/۹- میلی‌ولت و راندمان نانوپوشانی ۷۶/۸ درصد ارزیابی شد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش نشان داد، استفاده از نانولیپوزوم‌ها در همبرگر سبب افزایش قدرت نگهداری آب و بازده پخت و هم‌چنین کاهش میزان کالری کل و پیشرفت روند اکسیداسیون پروتئین و چربی شده است و هم‌چنین پس از فرآیند پخت باعث بهبود بافت و رنگ گردید. ارزیابی حسی نمونه‌ها نشان داد، افزودن نانولیپوزوم‌های حامل روغن ماهی در برگر گوشت پس از نظرسنجی داوران بالاترین امتیاز را از لحاظ بافت، طعم، بو، رنگ، پذیرش

کلی کسب نمود. با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان از روغن ماهی کپسوله در نانولیپوزوم با هدف غنی‌سازی برگر گوشت و تولید فرآورده‌ای با کالری کم‌تر بدون ایجاد بو و طعم نامطلوب استفاده نمود.

استناد: قوطوری، سادنا، اجاق، سید مهدی، حسنی، مریم، عالیشاهی، علی‌رضا، حسنی، شیرین (۱۴۰۲). اثر افزودن نانولیپوزوم‌های حامل روغن ماهی بر خواص تکنولوژیکی و کیفیت تغذیه‌ای همبرگر با چربی کاهش‌یافته طی نگهداری در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد). *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۲ (۱)، ۱۶۲-۱۴۳.
DOI: 10.22069/japu.2023.21122.1750

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

روغن ماهی به دلیل دارا بودن ویتامین‌های A و D و هم‌چنین اسیدهای چرب ضروری چند غیراشباع (به ویژه امگا ۳ مانند DHA[1]، EPA[2] و امگا ۶ یکی از بهترین منابع غذایی و دارویی به شمار می‌روند). ساختار اسید چرب این روغن و خواص دارویی آن باعث افزایش قدرت حافظه، تقویت سیستم ایمنی، جلوگیری از شب کوری و آلزایمر، درمان انواع سرطان و بیماری‌های قلبی، پوستی و چشم، سبب انتخاب این روغن در رژیم غذایی هفتگی افراد شده است. ولی با وجود این مزایا و خصوصیات منحصر به فرد، یکی از مهم‌ترین مشکلات مصرف روغن ماهی حساسیت اکسایش بسیار بالای آن به‌دلیل داشتن مقادیر بالایی از اسیدهای چرب چند غیراشباع می‌باشد که منجر به فساد شدید اکسیداتیو و ایجاد بدطعمی نامطلوب و در نتیجه کاهش تمایل به مصرف روغن ماهی می‌شود (۱). بزرگ‌ترین تکنولوژی موجود در زمینه الحاق مقادیر مؤثر EPA و DHA به مواد غذایی، اکسیداسیون و ایجاد عطر و بوی ماهی مانند ناشی از تجزیه لیپیدها می‌باشد که باید از آن‌ها جلوگیری شود. رویکردهای مختلفی در زمینه جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدها در مواد غذایی غنی شده با امگا ۳ مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در این راستا استفاده از تکنیک درون‌پوشانی موفق‌ترین روش به‌شمار می‌رود (۲). درون‌پوشانی، تکنولوژی به دام انداختن مواد مایع، جامد یا گازی در کپسول‌هایی که محتویات خود را در سرعت‌های کنترل‌شده و تحت شرایط ویژه آزاد می‌کنند، می‌باشد که شامل مراحل تشکیل دیواره اطراف ترکیب زیست‌فعال، اطمینان از عدم نشت این ترکیبات به بیرون و عدم پوشش ترکیبات نامطلوب در کپسول می‌باشد. یکی از انواع حامل‌های لیپیدی که برای درون‌پوشانی مواد زیست‌فعال و غذا- داروستفاده می‌شود، لیپوزوم‌ها می‌باشد (۳). لیپوزوم‌ها وزیکول‌های کلوئیدی می‌باشند که متشکل از لیپیدهای قطبی به‌ویژه فسفولیپیدها که در حضور مولکول‌های آب ساختارهای کروی دولایه‌ای را ایجاد می‌کنند (۴). این ترکیبات به‌دلیل خاصیت آمفی‌فیلیک توانایی کپسوله کردن طیف وسیعی از ترکیبات آبدوست، چربی‌دوست و آمفی‌فیل را دارند. امروزه نیاز فرآینده‌ای برای غنی‌سازی مواد غذایی توسط مواد زیست‌فعال مانند روغن ماهی جهت توسعه غذاهای عملگرای جدید وجود دارد. در این راستا یک سیستم حامل مناسب مانند انکپسولاسیون لیپوزومی می‌تواند برای الحاق روغن ماهی به عنوان منبعی غنی از اسیدهای چرب ضروری در فرآورده‌های غذایی مورد استفاده قرار گیرد. گوشت قرمز منبع مناسبی از پروتئین‌ها، اسیدهای چرب ضروری، ویتامین‌ها به خصوص ویتامین‌های گروه B و آهن می‌باشد. با این‌حال حاوی مقادیر زیادی اسید چرب اشباع، کلسترول، سدیم و کالری می‌باشد که موجب شده احتمال شیوع بیماری‌های قلبی و عروقی، چاقی، پرفشاری خون و ابتلا به سرطان را به مصرف گوشت قرمز نسبت دهند. تعدادی از فرآورده‌های گوشتی پرمصرف از جمله انواع برگرها، بر خلاف اثرات منفی بر سلامت، توسط میلیون‌ها مصرف‌کننده در سراسر جهان مورد مصرف قرار می‌گیرند. در سال‌های گذشته پژوهش‌های بسیاری به منظور بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای فرآورده‌های گوشتی صورت گرفته است. کاهش و جایگزینی چربی گوشت با روغن‌های غیراشباع و سالم به‌دست آمده از منابع دیگر، در فرآورده‌های گوشتی یکی از راهبردهای موفق در کاهش میزان اسیدهای چرب اشباع گوشت و بهبود شاخص‌های تغذیه‌ای آن است.

1- Eicosapentaenoic acid
2- Docosahexaenoic acid

در این زمینه، علاوه بر کاهش نسبت چربی کل و اسیدهای چرب اشباع‌شده، مطالعات نشان داده‌اند که جایگزینی چربی حیوانی با امولسیون روغن جلبک و جوانه گندم در برگر گوشت قرمز (۵)، با روغن‌های زیتون، بذر کتان و دانه چیا از پیش امولسیون شده در سوسیس‌های بره پخته‌شده (۶)، روغن ماهی ریزکپسوله شده (۷)، امولسیون روغن بزرک (۸) در سوسیس‌های تخمیرشده، روغن زیتون در سوسیس‌های فرانکفورتر (۹)، روغن چیا و روغن بذر کتان در کلوچه‌های گوشتی (۱۰) باعث افزایش اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (Polyunsaturated fatty acid) شده است. این نویسندگان هم‌چنین بهبودی را در شاخص‌های تغذیه‌ای مشاهده کردند.

ارائه الگوی مناسب غذایی و آگاهی‌رسانی آحاد جامعه در خصوص اتخاذ یک رژیم غذایی مناسب با درصد چربی‌های اشباع کم، حاوی ترکیبات مغذی با ارزش غذایی بالا و هم‌چنین اسیدهای چرب غیراشباع برای کاهش احتمال ابتلا به بیماری‌های مزمن از جمله بیماری‌های قلبی عروقی، انواع سرطان، بیماری‌های التهابی و غیره از اقدامات مورد توجه بهداشت جهانی در سال‌های اخیر بوده است. بررسی‌های متعدد انجام‌شده در جوامع مختلف نشان می‌دهد که مصرف روزانه ۱ گرم روغن ماهی (حاوی ۸۴۰ میلی‌گرم DHA ± EPA) میزان مرگ ناگهانی بیماران مبتلا به بیماری عروق قلبی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. بنابراین، مصرف این مکمل را در ترکیب سایر مواد غذایی متداول توصیه کرده‌اند (۱۱).

در پی این مسأله و افزایش آگاهی مردم نسبت به مصرف چربی، افزایش چشمگیری در تقاضای محصولات غذایی کم‌چرب به‌وجود آمد. بنابراین، هدف پژوهش حاضر امکان‌سنجی تهیه فرمولاسیون نانولیپوزومی روغن ماهی با استفاده از روش سونیکاسیون و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی نانولیپوزوم‌های تهیه شده و هم‌چنین استفاده از این محصول به عنوان منبعی غنی از اسیدهای چرب ضروری به‌منظور جایگزینی آن با چربی حیوانی و غنی‌سازی برگر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

روغن ماهی خریداری شده از شرکت (کلیکا پودر، تهران)، روغن آفتابگردان (شرکت لادن)، لسیتین (سیگما آلدریچ)، گلیسرول (سیگما آلدریچ)، آب دیونیزه، آرد سوخاری از شرکت (گلها)، گوشت گوساله از بازار محلی خریداری گردید. سایر مواد مصرفی دارای درجه آزمایشگاهی بوده و از شرکت‌های مرک آلمان و تتراکم تهیه گردیدند.

تهیه لیپوزوم: برای تهیه نانولیپوزوم‌های روغن ماهی، ترکیبات فرمولاسیون لیپوزومی شامل لسیتین و روغن آفتابگردان به‌منظور اطمینان کامل از حل شدن لسیتین و روغن در حمام آبی ۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند. روغن ماهی به‌صورت قطره قطره به مخلوط روغن آفتابگردان و لسیتین اضافه شده و با دور ۱۰۰۰rpm مخلوط گردید. محلول با افزودن آب دیونیزه و گلیسرول (غلظت نهایی ۲ درصد حجمی/ حجمی) در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد هیدراته شده و سپس به مدت ۱۵ دقیقه هموژن شد. محلول لیپوزومی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با سونیکاتوربه مدت ۷ دقیقه، ۲ ثانیه روشن و ۲ ثانیه خاموش با پروب ups ۲۰۰ تحت سونیکاسیون تناوب ۲۰ کیلوهرتز قرار گرفت. نانولیپوزوم‌ها توسط خشک‌کن انجمادی به‌مدت ۷۲ ساعت خشک شده و در یخچال برای مراحل بعدی آزمایش نگهداری شدند (۳).

ارزیابی خصوصیات فیزیکی نانولیپوزوم‌های حامل روغن ماهی

اندازه ذره و تعیین توزیع اندازه ذره‌ای (Polydispersity index): اندازه ذره‌ای و توزیع اندازه ذره‌ای لیپوزوم‌ها پس از رقیق کردن نمونه

به‌میزان ۱۰ برابر با بافر به روش تفرق نور پویا (Dynamic light scattering) توسط دستگاه Zetasizer (Nano ZS) انجام شد.

تعیین پتانسیل زتای سطح لیپوزوم‌ها: در مطالعه حاضر، پتانسیل زتای سطح لیپوزوم‌ها به روش Laser Doppler Micro-electrophoresis توسط دستگاه Zetasizer انجام شد. لیپوزوم‌ها توسط بافر فسفات (pH=۷/۴، ۵۰ m M) به میزان ۱۰ برابر رقیق شد و ارزیابی در زاویه پراکنش ۱۷۳° و طول موج هلیوم-تنگستن ۶۳۳ نانومتر و در دمای اتاق صورت گرفت.

تعیین راندمان درون‌پوشانی نانولیپوزوم‌ها (Encapsulation Efficiency%): بررسی راندمان درون‌پوشانی طبق روش قربان‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) صورت گرفت (۴). به‌طور خلاصه، در این روش روغن ماهی نانوکپسوله با استفاده از روش سانتریفیوژ با دور g ×۴۲۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه از لیپوزوم‌ها جداسازی شدند. سپس ۱ میلی‌لیتر از مایع رویی برداشته شد و با ۵ میلی‌لیتر حلال کلروفرم به‌مدت ۵ دقیقه استخراج گردید. سپس توسط فیلتر ۰/۴۵ میکرومتری فیلتر شده و ۲۴ ساعت رها گردید. میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر UV/VIS در طول موج ۲۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. هم‌چنین لایه پایینی سیستم لیپوزومی حاوی روغن ماهی استخراج و مقدار EE% با فرمول زیر محاسبه گردید.

$$EE\ (\%) = \frac{\text{روغن ماهی غیر کپسوله- روغن ماهی کل سیستم لیپوزومی}}{\text{روغن ماهی کل}} \times ۱۰۰$$

تهیه همبرگر غنی شده با روغن ماهی کپسوله‌شده: همبرگرها طبق فرمولاسیون توبین و همکاران (۲۰۱۲) تهیه گردید (۱۲). برای تهیه پنج نمونه برگر طبق فرمولاسیون: دو تیمار شامل ۵ درصد و ۱۰ درصد روغن ماهی خام (غیرلیپوزومه) و دو تیمار ۵ درصد و ۱۰ درصد نانولیپوزوم (حاوی روغن ماهی) و تیمار شاهد ۱۰ درصد چربی که جایگزین چربی گوشت در همبرگر شدند و سایر مواد تشکیل‌دهنده در همبرگر شامل: گوشت گوساله ۶۰ درصد، آرد سوخاری ۸ درصد، نمک و فلفل ۲ درصد، پودر سیر و پیاز ۲۰ درصد با هم مخلوط شدند. سپس نمونه‌های شاهد (فاقد روغن ماهی) و تیمار شده مورد آزمون‌های فیزیکی، شیمیایی و بافتی قرار گرفتند. وزن هر برگر ۱۰۰ گرمی در نظر گرفته شد. برگرها در بسته‌های زیپ پلاست در شرایط نگهداری سرد (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ روز) قرار گرفته و آزمون‌های مورد نظر انجام شد.

اسید تیوباربیتوریک (Thiobarbituric acid): اندازه‌گیری TBA به وسیله روش رنگ‌سنجی صورت گرفت. مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه چرخ شده گوشت به یک بالن ۲۵ میلی‌لیتر انتقال یافت و سپس با ۱- بوتانول به حجم رسانده‌شد. ۵ میلی‌لیتر از معرف TBA از مخلوط فوق به لوله‌های خشک درب‌دار وارد شده و به آن ۵ میلی‌لیتر از معرف TBA افزوده گردید (معرف TBA به وسیله حل شدن ۲۰۰ میلی‌لیتر از TBA در ۱۰۰ میلی‌لیتر حلال بوتانول پس از فیلتر شدن به‌دست می‌آید). لوله‌های درب‌دار در حمام آب با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت قرار گرفته و پس از آن در دمای محیط سرد شدند. سپس مقدارجذب (As) درطول موج ۵۳۰ نانومتر در مقابل شاهد آب مقطر (Ab) خوانده شد. مقدار TBA (میلی‌گرم مالون دی‌آلدئید در کیلوگرم گوشت) بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید.

$$TBA = \frac{As - Ab \times 50}{200}$$

اکسیداسیون پروتئین: اکسیداسیون پروتئین به وسیله محاسبات کل کربونیل مشتق شده با ۲/۴ دنیتروفنول هیدروژن به وسیله کیت آزمایشگاهی کیمن پروتئین کلرومتریک اندازه‌گیری شد (۱۳).

تعیین ویژگی‌های شیمیایی برگر: pH نمونه‌ها با pH متر دیجیتالی استانداردشده، در pH ۴ و ۷ اندازه‌گیری شد (۱۰). محتوای رطوبت، خاکستر، چربی و پروتئین برگر به‌ترتیب با روش خشک‌کردن در آون، سوزانیدن در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت، روش سوکسله و روش کجلدال تعیین شد (۱۴).

سنجش میزان کالری کل: میزان کالری کل نمونه‌های همبرگر با استفاده از (Atwater Value) محاسبه شد که براساس آن میزان کالری کل از حاصل جمع میزان کالری هر کدام از ترکیبات چربی (۹ kcl/g)، پروتئین (۴/۰۲ kcl/g)، کربوهیدرات (۳/۸۷ kcl/g) به‌دست آمد (۵).

ارزیابی حسی محصول: برای ارزیابی حسی محصول نهایی ارزیابی از یک گروه پنل دانشجویان متشکل از ۸ نفر استفاده شد. پرسش‌نامه مورد نظر بر اساس روش هدونیک جهت امتیازدهی به نمونه‌ها در اختیار ارزیابان قرار گرفت. این افراد سپس نظرات خود را پس از ارزیابی طعم، بو، بافت، رنگ و مطلوبیت کل تیمارها روی پرسش‌نامه‌ها منتقل کردند. سپس تیمارها به‌صورت تصادفی کدگذاری شده و در اختیار ارزیابان قرار داده شد.

ارزیابی بافت: سنجش خصوصیات بافتی برگرهای تهیه شده بعد از پخت با استفاده از دستگاه نجزیه و تحلیل بافت (Texture Profile Analyzer) انجام شد. جهت اندازه‌گیری خصوصیات بافتی همبرگر، نمونه‌ها در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه دقیقه سرخ شده و سپس به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا دمای مرکز نمونه‌ها به ۴ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد. آنالیز بافت در زمینه سختی (Hardness)، قابلیت ارتجاع (Springiness)، صمغی‌شدن (Gumminess)، پیوستگی (Cohesiveness) و قابلیت جویدن (Chewiness) انجام گرفت. بدین‌منظور نمونه‌ها با ابعاد ۳×۳ سانتی‌متر برش خورده و از یک پروب استوانه‌ای با ابعاد ۲۵ میلی‌متر از جنس فولاد زنگ نزن و عمق نفوذ ۵۰ درصد با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه استفاده گردید. از طریق نتایج حاصل از آزمون TPA، می‌توان سختی، به هم پیوستگی، خاصیت ارتجاعی، خاصیت صمغی و قابلیت جویدن را تعیین کرد.

آزمون رنگ‌سنجی: رنگ نمونه‌ها توسط دستگاه رنگ‌سنج هانتر لب در سه تکرار تعیین گردید. شدت رنگ‌ها با استفاده از پارامترهای هانتر بر حسب (L^*) روشنایی، a* (قرمزی- سبزی)، b* (زردی- آبی) اندازه‌گیری شد (۱۰).

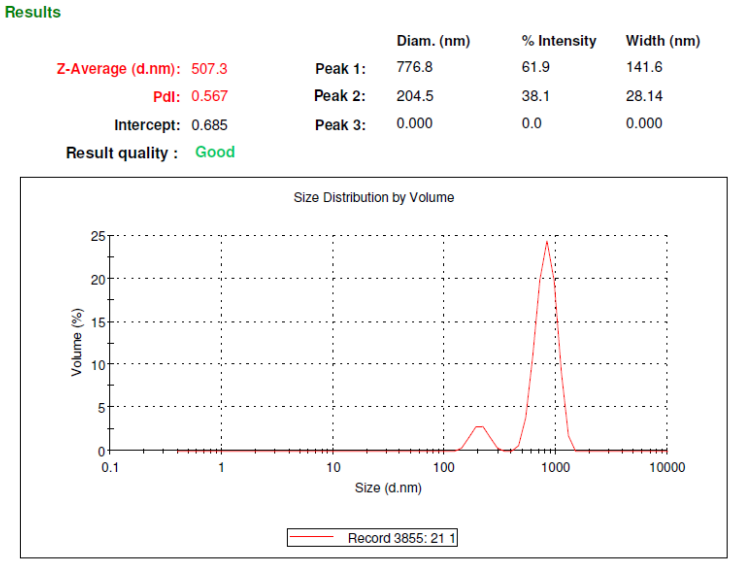
آنالیز آماری: جهت بررسی حاضر برای هر یک از تیمارها، سه تکرار در نظر گرفته شد. همه تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ و نمودارهای موجود با Office نسخه ۲۰۱۳ انجام پذیرفت. جهت بررسی اختلاف بین داده‌های حاصل، از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و هم‌چنین جهت تعیین وجود تفاوت معنی‌دار بین مقادیر میانگین تیمارهای مختلف از آزمون Duncan در سطح $P\leq ۰/۰۵$ استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی نانولیپوزوم‌های حامل روغن ماهی

اندازه ذره و تعیین توزیع اندازه ذره‌ای (PDI): نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه ذره‌ای

لیپوزوم‌های تهیه شده با سونیکاسیون میله‌ای حدود ۵۰۷/۳ نانومتر و دارای PDI حدود ۰/۵۶۷ بود که نشان‌دهنده اندازه ذره‌ای مناسب و یکنواختی توزیع ذرات است و با نتایج اجاق و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد (۱).



شکل ۱- توزیع اندازه ذره‌ای نانولیپوزوم‌های روغن ماهی.

طبق مطالعات صورت گرفته، اندازه ذرات نانولیپوزوم‌ها در پژوهش حاضر به منظور کاربرد در صنایع غذایی و دارویی مناسب گزارش می‌شود (۱۵). اندازه ذرات نانولیپوزوم‌ها با نتایج گزارش شده توسط فروتن و همکاران (۲۰۲۲) و حق‌دوست و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت داشت (۱۶ و ۱۷) و اندک تفاوت مشاهده در نتایج می‌تواند به‌دلیل تفاوت در زمان سونیکاسیون و همچنین ترکیبات شرکت‌کننده در دیسپرسیون باشد. پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که روش‌های مورد استفاده برای تهیه لیپوزوم‌ها اثر چشمگیری بر ویژگی‌های فیزیکی مانند اندازه و کارایی درون‌پوشانی ترکیبات زیست‌فعال دارد.

یافته‌های حاصل از این بررسی بیانگر درون‌پوشانی این ترکیبات آب‌گریز در ساختار نانولیپوزومی تشکیل یافته بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که عوامل مختلفی مانند ترکیبات لیپیدی مورد استفاده مانند کلسترول، شرایط فرمولاسیون مانند pH، قدرت یونی، دما، ترکیبات بافر به نحوی در اندازه و پایداری لیپوزوم مؤثر است (۱۸). لکاگو و همکاران (۲۰۱۰) عدم یکسانی شکل و اندازه پودرها را ناشی از تفاوت در میزان رطوبت پودر حاصله دانستند (۱۹). مطالعات پیشین نشان دادند ترکیبات مختلف دیواره و تکنیک نانوپوشانی فاکتورهای مؤثر بر اندازه ذرات و مورفولوژی کپسول‌ها است (۱۵ و ۱۹).

پتانسیل زتای سطح لیپوزوم‌ها: پتانسیل زتا بهترین شاخص برای تعیین وضعیت الکتریکی سطحی سیستم‌های کلوئیدی است. چون نشان‌دهنده میزان تجمع بار در لایه غیرمتحرک و شدت جذب یون‌های مخالف به سطح ذره و در نتیجه میزان پایداری الکترواستاتیک است (۲). کاهش اختلاف پتانسیل زتا به زیر مقدار بحرانی، موجب در هم‌ریختن لایه دوگانه باردار اطراف ذرات و تجمع ذرات می‌شود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد تمامی لیپوزوم‌های حاوی

روغن ماهی دارای پتانسیل زتای بالای ۱۲/۹- میلی‌ولت می‌باشند که بیانگر نقش نیروی دافعه الکترواستاتیک در پایداری نانولیپوزوم‌ها و جلوگیری از تجمع آن‌ها در طول زمان است. وقتی بار کلی روی ذرات افزایش می‌یابد، ذرات همدیگر را دفع کرده و بر توده‌ای شدن غلبه می‌کنند. اندازه‌گیری پتانسیل زتا در کنترل توده‌ای شدن و رسوب نانولیپوزوم‌ها که فاکتورهای مهم در پایداری نانولیپوزوم‌ها می‌باشند، مفید است (۲۰).

در مطالعه حاضر، میانگین پتانسیل زتا حدود ۱۲/۹- میلی‌ولت بود که با پژوهش انجام شده توسط فروتن و همکاران (۲۰۲۲) همسویی دارد (۱۶). یکی از ویژگی‌های کلیدی اسیدهای چرب در لایه فسفولیپید غشاء، یونیزاسیون سطحی است. وقتی میزان اسید چرب بسیار کم است، در pH حدود ۷/۴ به شکل آزاد است که احتمالاً به‌طور کاملاً یونیزه شده است (بار آن منفی است). مطالعات پیشین دریافتند که کلسترول از طریق سفت کردن ساختار غشا و افزایش پتانسیل زتا ودافعه الکتروستاتیک بین ذرات باعث پایداری لیپوزوم‌ها می‌شود (۲۱). از عوامل مؤثر بر پتانسیل زتای لیپوزوم می‌توان به نوع و مقدار فسفولیپید، نوع و غلظت پایدارکننده، نوع و غلظت ماده فعال، قدرت یونی محیط و دما اشاره کرد (۲۲).

راندمان درون‌پوشانی لیپوزوم‌ها (EE%): بر اساس نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر میزان کارایی نانوپوشانی روغن ماهی در نانولیپوزوم‌ها ۷۶/۸ درصد گزارش گردید. ترکیبات زیست‌فعال بسته به ویژگی‌های خاص خود مانند حلالیت و قطبیت به‌صورت‌های مختلف می‌توانند با لیپوزوم‌ها بر هم تأثیر بگذارند. به‌طوری‌که ممکن است در فاز آبی یا لیپیدی کپسوله شده و یا جذب قسمت سطحی لیپوزوم گردند. راندمان نانوپوشانی فاکتوری مؤثر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی نانولیپوزم مانند پایداری اکسیداتیو، پایداری فیزیکی، مورفولوژی و میزان رهایش می‌باشد. به طور کلی این دیدگاه وجود دارد که پایداری ترکیبات با افزایش راندمان، افزایش می‌یابد و برای دست‌یابی به شرایط بهینه باید تا حد امکان سعی در افزایش راندمان نانوپوشانی نمود (۲۳). در پژوهش حاضر، هسته‌های آبی بخش آبدوست و دو لایه فسفولیپید با توجه به خواص آبگریز آن به‌عنوان ذخیره‌گاهی برای روغن ماهی می‌باشند. اندازه ذرات و سطح مخصوص لیپوزوم‌ها از جمله عوامل مؤثر بر راندمان نانوپوشانی ترکیبات با ارزش و حساس محصور در سیستم لیپوزومی می‌باشند (۲۳).

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفیت همبرگر تهیه شده: تغییرات میزان pH در تیمارهای مختلف برگر شاهد، حاوی روغن ماهی خام و نانولیپوزومه در دو غلظت ۵ درصد و ۱۰ درصد در طی زمان نگهداری در یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیش‌ترین میزان pH در تیمار شاهد و حاوی ۱۰ درصد روغن ماهی و کم‌ترین میزان مربوط به تیمار برگر حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم (۰/۰۱ ± ۶/۰۴) می‌باشد که تفاوت معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) با سایر تیمارها نشان می‌دهد.

pH شاخصی مهم و مؤثر بر کیفیت گوشت می‌باشد. گوشت‌های دارای pH ۶ تا ۶/۳ سفت و گوشت‌های دارای pH ۶ تا ۶/۴ ترد هستند. گوشت در pH حدود ۵ دارای کم‌ترین و در pH حدود ۷ دارای بیش‌ترین ظرفیت جذب و نگهداری آب می‌باشد (۱۳). نتایج به‌دست آمده بیانگر کاهش pH تیمارها نسبت به نمونه شاهد و ۱۰ درصد روغن ماهی غیرلیپوزوم بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که کم‌ترین میزان pH در نمونه‌های حاوی ۵ درصد لیپوزوم (حاوی روغن ماهی) بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد بیش‌ترین مقادیر پروتئین مربوط به تیمار حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم می‌باشد که اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) با تیمارهای شاهد و

حاوی روغن غیرلیپوزومه دارد. پیرس و همکاران (۲۰۲۰) با جایگزین کردن روغن گیاهی با چربی گوشت خوک (۲۵ و ۵۰ درصد) تفاوت معنی‌داری در مقادیر pH در سوسیس‌های بولونیا مشاهده نکردند (۲۴). میزان خاکستر کل بین تیمارهای شاهد و روغن ماهی غیرلیپوزوم با غلظت (۵ و ۱۰ درصد) اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) وجود نداشت، ولی بین دو تیمار نانو لیپوزومه اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) وجود داشت. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد میزان خاکستر کل اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و تیمار حاوی روغن ماهی غیرلیپوزوم در غلظت ۵ درصد و ۱۰ درصد داشت. بیش‌ترین مقدار خاکستر کل مربوط به تیمار حاوی ۱۰ درصد لیپوزوم بود. مطالعات یو و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که با افزایش میزان ژلاتین حاصل از پای اردک (۰، ۱۰، ۱۲ و ۱۵/۵ درصد) در فرانکفوتر کم‌چرب مقدار خاکستر محصول افزایش یافت که همسو با نتایج به‌دست آمده از پژوهش می‌باشد (۲۵). نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار چربی را نمونه شاهد (۱۱/۷۷ ±۰/۷۲ درصد) داشت که اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) با سایر تیمارها نشان داد. کاهش چربی کل در همبرگرهای فرموله شده با امولسیون‌های هیدروژل شده توسط سایر نویسندگان نیز مشاهده شد (۱۸ و ۲۶).

براساس داده‌های جدول ۱ میزان رطوبت بین تیمار شاهد و تیمار نانولیپوزوم‌های حاوی روغن ماهی و غیرلیپوزومه اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) مشاهده نشد. رطوبت از جمله ویژگی‌هایی می‌باشد که از نظر تازگی و عمر ماندگاری مواد غذایی دارای اهمیت است. میزان رطوبت یکی از فاکتورهای اساسی تهیه و قالب‌بندی همبرگر است. به‌طوری‌که چنان‌چه میزان آب موجود در مواد اولیه همبرگر قبل از فرم گرفتن بیش از حد معمول باشد و مواد جاذب رطوبت مثل آرد سوخاری در فرمول کم باشد، مخلوط اولیه شل و وارفته خواهد شد. از سوی دیگر با نگهداری طولانی محصول نهایی، حالت آبداری همبرگر به علت از بین رفتن رطوبت، کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست آمده میزان رطوبت در همه تیمارها روند افزایشی داشت. رادر و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه بر روی گوشتابا (نوعی محصول گوشتی هند) حاوی صمغ گوار به این نتیجه رسیدند که نمونه‌های که دارای صمغ بودند حفظ رطوبت بالاتری از نمونه شاهد داشتند و محتوای رطوبت بالای نمونه‌های حاوی صمغ در ارتباط با ظرفیت اتصال با آب و حفظ رطوبت بالا در صمغ گوار می‌باشد (۲۷).

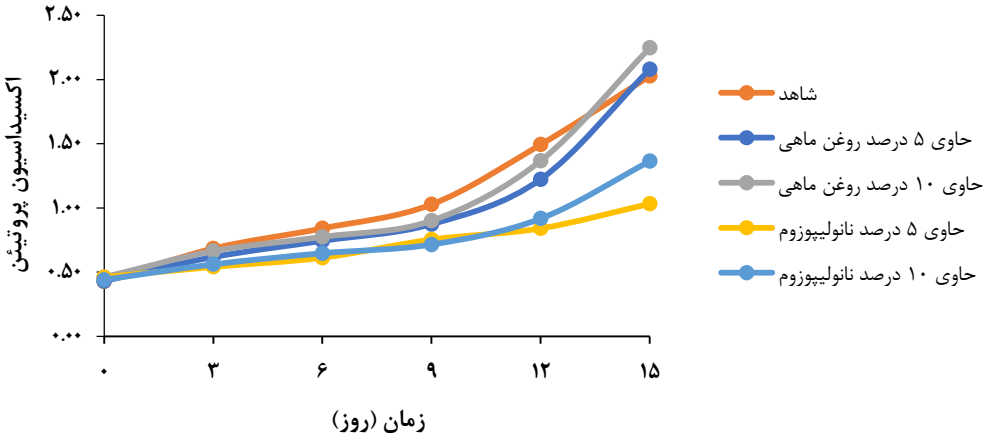
جدول ۱- مقادیر pH، رطوبت، پروتئین، خاکستر، چربی، رطوبت.

آزمون	شاهد	حاوی ۵ درصد روغن ماهی غیرلیپوزومه	حاوی ۱۰ درصد روغن ماهی غیرلیپوزومه	حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم	حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم
pH	۶/۰۷±۰/۰۱^{a}	۶/۰۶ ± ۰/۰۱^{b}	۶/۰۷ ±۰/۰۱^{a}	۶/۰۳ ±۰/۰۰^{d}	۶/۰۴ ±۰/۰۱^{c}
پروتئین	۱۱/۲ ±۰/۱۱^{c}	۱۱/۳۸ ±۰/۰۳^{b}	۱۱/۴۰±۰/۴^{b}	۱۱/۴۸ ±۰/۰۶$^{a\ b}$	۱۱/۵۳ ±۰/۰۴^{a}
خاکستر	۱/۹۲ ±۰/۰۱^{c}	۱/۹۲ ±۰/۰۱^{c}	۱/۹۴ ±۰/۰۱^{c}	۲/۰۳ ±۰/۰۱^{b}	۲/۰۸ ± ۰/۰۴^{a}
چربی	۱۷/۷۷ ±۰/۷۲^{a}	۱۱/۴۸ ±۰/۱۰^{c}	۱۲/۵۹ ±۰/۲۱^{b}	۱۰/۸۹ ±۰/۸۳^{c}	۱۱/۴۷ ±۰/۳۷^{c}
رطوبت	۶۱/۳۹ ±۰/۴۶^{a}	۶۰/۶۵ ± ۰/۵۷^{a}	۴۲/۳۱ ±۰/۱۹^{a}	۶۷/۵۷ ± ۰/۵۵^{a}	۶۹/۰۸ ± ۰/۰۷^{a}

مقادیر در جدول نشان‌دهنده میانگین ± انحراف معیار می‌باشد

حروف غیرمشابه در هر سطر معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بین تیمارها را نشان می‌دهد

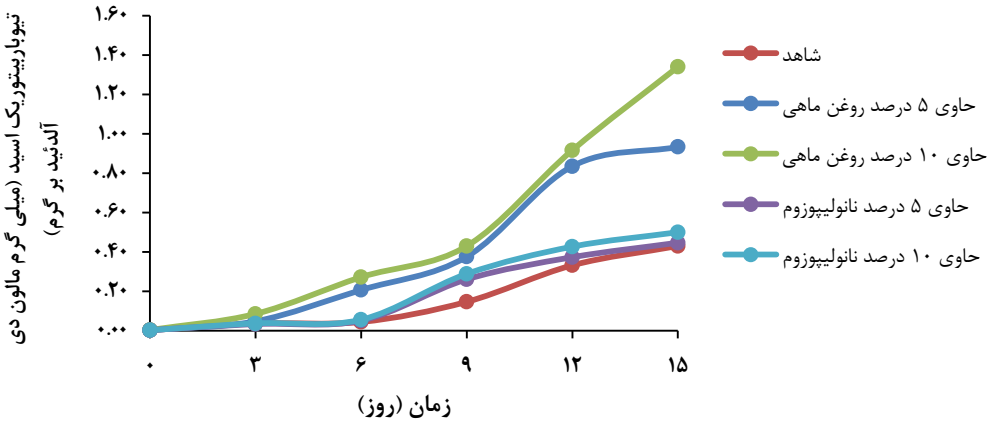
اکسیداسیون پروتئین: همان‌طورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود میزان اکسیداسیون پروتئین با گذشت زمان در تمامی تیمارها روندی افزایشی داشت. به‌طوری‌که مقادیر اکسیداسیون پروتئین در زمان‌های مختلف در تمامی تیمارها معنی‌دار (P≤۰/۰۵) بود.



شکل ۲- اکسیداسیون پروتئین (نانومول در میلی‌گرم پروتئین) تیمارهای برگر گوشت طی نگهداری در یخچال.

میزان اکسیداسیون پروتئین به روش DNPH، با بررسی ترکیب کربونیل آزاد تشکیل‌شده به هنگام اکسیداسیون بقایای آمینواسیدی اندازه‌گیری می‌شود. اکسیداسیون پروتئین یک تغییر کووالانسی در پروتئین است که می‌تواند به‌طور مستقیم توسط گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر و یا به‌طور غیرمستقیم صورت گیرد. مطالعات پیشین نشان دادند که میزان اکسیداسیون پروتئین با انبارداری مواد غذایی افزایش پیدا می‌کند (۲۸). نتایج نشان داد اکسیداسیون پروتئین در تمامی تیمارها روند افزایشی داشت. به‌طوری‌که در طی ۱۵ روز نگهداری، میزان کربونیل در همه تیمارها به‌طور معنی‌داری افزایش داشت که نشان از افزایش اکسیداسیون پروتئین طی زمان است. با این وجود در انتهای دوره نگهداری در یخچال مشاهده گردید کم‌ترین میزان اکسیداسیون پروتئین در تیمارهای حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم می‌باشد. بنابراین می‌توان دریافت نانوپوشانی کردن روغن ماهی باعث کاهش روند میزان اکسیداسیون پروتئین درطی زمان نگهداری شده است.

میزان تیوباربیتوریک اسید (TBA): نتایج تغییرات مقدارتیوباربیتوریک اسید (TBA) نشان داد میزان اکسیداسیون چربی در زمان‌های مختلف و هم‌چنین بین تیمارها دارای اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) بود و از روز صفر با گذشت زمان روندی افزایشی را در تیمارهای نگهداری شده در یخچال نشان داد (شکل ۳). به‌طوری‌که در انتهای دوره نگهداری بالاترین میزان TBA در تمامی تیمارهای مورد آزمایش مشاهده گردید.



شکل ۳- مقادیر تیوباربیتوریک اسید (TBA) در تیمارهای مختلف برگر گوشت طی نگهداری در یخچال.

تیوباربیتوریک اسید (TBA) از شاخص‌های اندازه‌گیری اکسیداسیون ثانویه چربی‌ها بر اساس محتوی مالون دی‌آلدئید می‌باشد. مالون دی‌آلدئید به‌واسطه اکسید شدن هیدروپراکسیدها به موادی مانند آلدئید و کتون، تبدیل می‌شود. چنین ترکیباتی می‌توانند شامل آمین‌ها، نوکلئوتیدها و نوکلئیک اسید، پروتئین‌ها، فسفولیپیدها و هم‌چنین دیگر آلدئیدهای تولیدی در پایان اکسیداسیون چربی باشند (۱۳). حداکثر مقادیر TBA در گزارش پژوهش‌گران، متفاوت عنوان شده است و به میزان ۲ میلی‌اکی‌والان گرم مالون دی‌آلدئید بر کیلوگرم گوشت (طی نگهداری در حالت انجماد، نگهداری در یخ و یا یخچال) پیشنهاد شده است، به‌طورکلی یکی از علل وقوع اکسیداسیون در فرآورده‌های گوشتی حضور ترکیباتی مثل میوگلوبین و هموگلوبین است که در حضور فلزاتی مانند آهن به عنوان پرواکسیدان عمل می‌کنند (۲۹). اسیدهای چرب DHA و EPA نسبت به اکسیداسیون حساس می‌باشند و طی فرآوری به‌دلیل ماهیت غیراشباعی متحمل تغییراتی می‌شوند. این اسیدهای چرب با قرار گرفتن در معرض نور، پرواکسیدان‌ها و درجه حرارت بالا به سرعت اکسیده می‌شوند و محصولات اکسیداتیو اولیه به وجود می‌آیند. تغییرات حسی ناشی از تجزیه هیدروپراکسیدها به فرآورده‌های ثانویه مثل آلدئیدها، کتون‌ها، اسیدها و الکل با طول زنجیر و درجه غیراشباعی اسیدهای چرب متناسب است. برخی از این ترکیبات، حد آستانه بویایی بسیار پایینی دارند و بنابراین، با غلظت بسیار کم بر کیفیت حسی اثر می‌گذارند و منجر به طعم و بوی ناخوشایند می‌شوند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد سیستم نانولیپوزومی نقش محافظتی مؤثری را برای روغن ماهی در برابر اکسیداسیون ایفا می‌کند. مشابه نتایج حاضر، سایر نویسندگان دریافتند که استفاده از روغن گیاهی کپسوله‌شده به‌عنوان جایگزین چربی حیوانی در همبرگر گوشت گاو منجر به کاهش TBA در مقایسه با فرمولاسیون تیمار شاهد می‌شود (۱۸).

بازده پخت: آنالیز بازده پخت نشان می‌دهد که کم‌ترین میزان مربوط به تیمار شاهد ۰/۹۶±۸۶/۲۳ درصد و بیش‌ترین مربوط به تیمار ۱۰ درصد نانولیپوزوم ۰/۵۵±۷۵/۸۳ درصد می‌باشد که اختلاف معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) با نمونه شاهد دارد. کاهش میزان چربی گوشت گاو و جایگزینی آن با روغن ماهی خام و نانولیپوزومه موجب افزایش میزان بازده پخت در نمونه کم‌چرب نسبت به نمونه شاهد بود.

علت افزایش میزان بازده پخت نمونه‌های حاوی نانولیپوزوم را می‌توان به حفظ بیش‌تر چربی و رطوبت دربافت آن‌ها در هنگام پخت نسبت داد. میزان افت پخت و کاهش قطر دو پارامتر مهم در بازده پخت محصولات غذایی می‌باشند. هم‌چنین، استفاده از امولسیون‌های حاوی روغن ماهی در همبرگر گاو می‌تواند جایگزینی برای کاهش غلظت چربی و حفظ عملکرد محصول باشد. در این رابطه، هک و همکاران (۲۰۱۹) تأیید کردند که افزودن امولسیون هیدروژل شده با روغن چیا و بذر کتان به عنوان جایگزین چربی گوشت خوک در برگر گوشت، بر کاهش قطر و افت پخت تأثیری نداشت (۲۶). نتایج حاصل از این پژوهش مشابه با نتایج مطالعات لوپز و همکاران (۲۰۱۷) بود. آن‌ها بیان کردند میزان بازده پخت برگرهای کم چرب حاوی ۱۰ درصد روغن زیتون امولسیون شده بیش‌تر از نمونه شاهد حاوی ۱۰ درصد چربی حیوانی و چربی پشت خوک بود (۳۰). هم‌چنین یوسف و همکاران (۲۰۱۱) در نتایج مطالعات خود گزارش کردند که کاهش میزان چربی برگرها از ۲۵ درصد به ۱۰ درصد و افزودن روغن کانولا سبب افزایش بازده پخت نمونه‌ها گردید (۳۱).

ظرفیت نگهداری آب: نتایج به‌دست آمده از ظرفیت نگهداری آب نشان می‌دهد که تیمارهای نانولیپوزوم (حاوی روغن ماهی) نسبت به نمونه شاهد در طی آزمون توانایی نگهداری آب بالاتری داشتند. آب جز اصلی ومهم گوشت می‌باشد و تقریباً ۷۵ درصد وزن گوشت را آب تشکیل می‌دهد. توانایی گوشت و محصول گوشتی در نگهداری آب درونی به عنوان ظرفیت نگهداری آب تعریف می‌شود که یک پارامتر کیفی اساسی برای صنعت و مصرف‌کننده به شمار می‌رود. در صنعت گوشت، ظرفیت نگهداری آب پایین دارای اثرات مضر در محصولات گوشتی تازه بوده و خواص حسی آن‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بالاترین ظرفیت نگهداری آب مربوط به تیمار نانولیپوزوم حاوی روغن ماهی و کم‌ترین ظرفیت نگهداری آب مربوط به تیمار شاهد و روغن ماهی غیرلیپوزومه می‌باشد.

کالری کل: با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تفاوت در میزان کالری نمونه‌های تیمار شده با همبرگر شاهد از لحاظ آماری معنی‌دار بوده است ($P\leq ۰/۰۵$). به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان کالری مربوط به تیمار شاهد ۶/۸۷ ± ۲۰۱/۹۰ (کیلوکالری بر گرم) بود و کم‌ترین مقدار کالری مربوط به تیمار نانولیپوزومه بود (جدول ۲). میزان کالری کل نمونه‌ها با توجه به فرمولاسیون و با احتساب میزان کالری هر یک از مواد اولیه محاسبه شد. میزان کالری تولید شده به ازای یک قرص همبرگر کم‌چرب نانولیپوزومه حاوی روغن ماهی ۱۰۰ گرمی حدود ۱۴ درصد کم‌تر از همبرگر شاهد بود. ازآن‌جایی‌که چربی یکی از مهم‌ترین ترکیبات اثرگذار برافزایش میزان کالری یک محصول غذایی به شمار می‌رود، کاهش میزان کالری نمونه حاوی نانو لیپوزوم حامل روغن ماهی و روغن ماهی غیرلیپوزومه در نتیجه کاهش در محتوای چربی آن است. باروس و همکاران (۲۰۲۰)، با مطالعه افزودن امولسیون روغن آجیل در برگر گوشت گاو به عنوان جایگزین (۵۰ و ۱۰۰ درصد) چربی گوشت گاو، کاهش محتوای انرژی را به‌دلیل کاهش چربی مشاهده کردند (۱۸).

جدول ۲- مقادیر بازده پخت، ظرفیت نگهداری آب، کالری کل، تیمارهای برگر گوشت.

آزمون	شاهد	حاوی ۵ درصد روغن ماهی غیرلیپوزومه	حاوی ۱۰ درصد روغن ماهی غیرلیپوزومه	حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم	حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم
بازده پخت	۸۶/۲۳±۰/۹۶^{d}	۹۰/۶۰ ± ۱/۳۰^{b}	۸۸/۳۳ ± ۰/۹۰^{c}	۹۸/۲۳ ± ۰ /۱۵^{a}	۹۷/۷۷ ± ۰/۵۵^{a}
ظرفیت نگهداری آب	۵۵/۷۹ ± ۱/۸۶^{c}	۶۰/۹۶ ± ۲/۳۴^{b}	۵۹/۷۰ ± ۱/۴۷^{b}	۷۶/۳۶ ± ۰/۱۲^{a}	۷۵/۸۳ ± ۰/۵۵^{a}
کالری کل	۲۰۱/۹۰ ± ۶/۸۷^{a}	۱۵۴/۷۷ ± ۰/۶۷^{b}	۱۵۸/۵۰ ± ۰/۷۰^{b}	۱۵۶/۳۱ ± ۰/۶۰^{b}	۱۶۰/۱۳ ± ۱/۰۳^{b}

مقادیر در جدول نشان‌دهنده میانگین ± انحراف معیار می‌باشد

حروف کوچک غیرمشابه در هر ستون معنی‌داری را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد

ارزیابی بافت: بررسی شاخص‌های سختی، چسبندگی، پیوستگی، صمغی شدن و قابلیت جویدن بر روی تیمارهای مختلف برگر نشان داد شاخص سختی در تیمار حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم کم‌ترین و در نمونه‌های حاوی ۵ درصد روغن ماهی خام (غیرلیپوزوم) بالاترین مقادیر را نشان داد (جدول ۳). کم‌ترین میزان چسبندگی در نمونه‌های حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم بود و بیش‌ترین میزان صمغی شدن بافت در نمونه‌های برگر حاوی ۵ درصد غیرلیپوزوم مشاهده شد. همان‌طور که در جدول ۳ آورده شده است، قابلیت جویدن در تیمارهای حاوی نانولیپوزوم کم‌تر از تیمار شاهد بود. هم‌چنین در تیمارهای حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم بیش‌ترین پیوستگی در بافت برگر گوشت مشاهده گردید. باروس و همکاران (۲۰۲۱) گزارش نمودند که جایگزینی چربی گوشت خوک با امولسیون‌های روغن گیاهی منجر به افزایش قابل‌توجهی در تمام پارامترهای بافت برگر شد. به‌طوری‌که برگرهای حاوی امولسیون‌های روغن جلبک و جوانه گندم بافت سفت‌تری نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. آن‌ها بیان کردند، دشوار است که این تفاوت را به یک عامل واحد نسبت دهیم، زیرا تفاوت‌هایی در پروتئین، آلژینات، چربی و خاکستر وجود دارد. علاوه بر این، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مختلف بین چربی حیوانی و امولسیون روغن در آب و تعامل آن‌ها با گوشت نیز می‌تواند بخشی از تفاوت‌های بافتی بین دسته‌ها را توضیح دهد (۵).

جدول ۳- ارزیابی بافت برگر گوشت بعد از پخت.

شاخص‌های بافت	شاهد	حاوی ۵ درصد روغن ماهی غیرلیپوزوم	حاوی ۱۰ درصد روغن ماهی غیرلیپوزوم	حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم	حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم
سختی (گرم)	۳۴۴/۶۷ ± ۱/۸۹^{b}	۴۱۰/۳۳ ± ۱/۷۶^{a}	۳۲۷/۴۰ ± ۱/۱۵ ^{c}	۲۵۸/۶۷ ±۰/۷۶^{d}	۱۸۶/۸ ± ۰/۳۵^{e}
چسبندگی	۰/۸۳ ± ۰/۰^{b}	۰/۸۴ ± ۰/۰۲^{b}	۰/۷۵ ± ۰/۰۰^{c}	۰/۸۹ ± ۰/۰۲^{a}	۰/۸۴ ±۰/۰۱^{b}
پیوستگی (گرم در میلی‌متر)	۳/۵۴ ± ۰/۰۲^{a}	۳/۶۲ ± ۰/۰۶^{a}	۳/۳۵ ± ۰/۰۵^{b}	۳/۲۴ ± ۰/۰۵^{c}	۲/۴۷ ± ۰/۰۷^{a}
قابلیت جویدن	۱۰۱۳/۴۸ ±۰/۴۶^{b}	۱۲۴۹/۱۲ ±۰/۱۰^{a}	۸۲۰/۱۰± ۰/۰۵^{c}	۷۴۱/۳۰ ± ۱/۲۵^{d}	۳۸۵/۸۳ ± ۰/۲۱^{e}
صمغی شدن	۲۸۷/۹۳ ± ۰/۰۶^{b}	۳۴۴/۹۹ ± ۰/۰۸^{a}	۲۴۴/۹۱ ± ۰/۱۰^{c}	۲۴۸/۸۲ ± ۳۴/۵۵^{c}	۱۵۶/۲۴ ± ۰/۹۳^{d}

حروف غیرمشابه در هر سطر وجود اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد

ویژگی‌های بافتی از جمله خصوصیاتی است که در ظاهر فرآورده‌های نهایی و میزان مقبولیت آن در میان مصرف‌کنندگان تأثیر به‌سزایی دارند. سختی، پیوستگی، ارتجاعی بودن، قابلیت جویدن وچسبندگی ازجمله ویژگی‌های بافتی همبرگر می‌باشند. کنترل رنگ و طعم به‌علت وجود رابطه خطی با عوامل مؤثر بر آن‌ها، نسبتاً آسان است ولی افزودنی‌های مؤثر بر بافت به‌طور غیرخطی بر خصوصیات بافتی تأثیر می‌گذارند که این مسأله موجب سخت شدن کنترل خصوصیات بافتی می‌شود. در اکثر موارد به ویژه در غذاهای نرم، بافت حتی از طعم و رنگ غذا نیز پراهمیت‌تر شده و بر نظر مصرف‌کنندگان بسیار مؤثر می‌باشد. شاخص سختی بر حسب نیوتن یا گرم بیان می‌شود و حداکثر نیروی مورد نیاز برای فشرده شدن نمونه‌ها با پروب دستگاه است (۳۲). بر اساس مقدار عددی این شاخص، می‌توان بیان کرد که میزان سختی بافت برگرهای تهیه‌شده در نمونه حاوی روغن ماهی خام (غیر لیپوزوم) از نمونه شاهد بیش‌تر بود و پایین‌ترین میزان سختی در تیمار ۱۰ درصد نانولیپوزوم حاوی روغن ماهی مشاهده گردید. در مطالعه حسینی و همکاران (۱۳۹۰)، افزودن میکروکریستالین سلولز به منزله جانشین چربی به برگر گوشت سبب افزایش میزان سختی شد که با یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر مطابقت نداشت (۳۲). هم‌چنین حق‌شناس و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تأثیرات افزودن بتاگلوکان و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی‌های حسی و فیزیکی ناگت میگوی فراسودمند دریافتند نمونه‌های حاوی این دو نوع هیدروکلوئید کم‌ترین میزان سختی بافت را نشان دادند که با نتایج پژوهش حاضر مشابهت داشت. شاخص به‌هم پیوستگی عبارتست از آزمایش نحوه پایداری یک فرآورده در برابر تغییر شکل بعد از دومین فشردگی، نسبت به رفتار آن طی تغییر شکل اول با اولین فشردگی (۳۳). میزان به‌هم‌پیوستگی در برگرها با افزودن نانولیپوزوم حاوی روغن ماهی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت و برعکس افزودن روغن به صورت آزاد سبب کاهش در میزان پیوستگی بافت گردید. میزان کشسانی، آزمایش میزان برگشت‌پذیری نمونه به شکل اولیه بعد از تغییر شکل با اولین فشردگی است. پارامتر کشسانی میزان خاصیت ارتجاعی بافت را نشان می‌دهد، بنابراین هرچه مقدار عددی این پارامتر به ۱۰۰ درصد یا عدد یک نزدیک‌تر باشد این فرآورده از کشسانی یا کیفیت بالاتری برخوردار است. با توجه به نتایج حاضر کشسانی و قابلیت ارتجاعی بافت برگرها با افزودن روغن ماهی خام نسبت به سایر تیمارها افزایش یافت و هم‌چنین بافت برگرهای حاوی روغن ماهی کشسانی کم‌تری را نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای حاوی روغن ماهی لیپوزوم شده نشان دادند. خصوصیت صمغی شدن از حاصل‌ضرب سختی و به‌هم‌پیوستگی و قابلیت جویدن از حاصل‌ضرب خاصیت صمغی با شاخص کشسانی به‌دست می‌آید. در خصوص این دو شاخص به ترتیب کم‌ترین میزان مربوط به نانولیپوزوم و بیش‌ترین مربوط به روغن ماهی خام بود. قابلیت جویدن به‌صورت میزان انرژی مورد نیاز برای جویدن یک ماده جامد و آماده بلع کردن آن تعریف می‌شود و از نظر دستگاهی نیز آن از حاصل‌ضرب سفتی، پیوستگی و ارتجاعی به‌دست می‌آید. قابلیت جویدن نیز مانند خاصیت ارتجاعی بودن رابطه مستقیمی با میزان سفتی محصول دارد. با توجه به افزایش میزان سفتی، پیوستگی و ارتجاعی بودن، میزان مقاوت در برابر جویدن نیز به تبع آن‌ها کاهش داشت. با توجه به نتایج کم‌ترین میزان جویدن مربوط به برگر حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم و بیش‌ترین مقدار خاصیت جویدن در نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد روغن ماهی غیرلیپوزومه بود. چوی و همکاران (۲۰۱۵) اعلام

نمودند افزودن فیبر سبوس برنج به سوسیس فرانکفورتر سبب افزایش سفتی، چسبندگی و پیوستگی می‌شود، اما تغییری در قابلیت جویدن سوسیس ایجاد نمی‌کند. آن‌ها اعلام نمودند افزودن فیبر سبب بهبود ویژگی‌های بافت در سوسیس می‌شود (۳۴).

ارزیابی حسی: ارزیابی حسی به عنوان روشی مناسب برای برآورد زمان ماندگاری طی دوره نگهداری است. جهت ارزیابی حسی مشخصه‌های طعم، بو، ظاهر، بافت و پذیرش کلی در برگرگوشت شاهد وبرگر غنی‌شده مورد سنجش قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی حسی برگرگوشت شاهد و غنی‌شده با روغن ماهی خام (غیر نانولیپوزوم) و نانولیپوزوم حاوی روغن ماهی بلافاصله پس از پخت در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به نتایج ارزیابی برگرهای تولید شده مشخص گردید، در شاخص‌های ارزیابی (ظاهر، بافت و پذیرش کلی) ارزیاب‌ها درصد تفاوتی بین دو نمونه برگر شاهد و برگر غنی‌شده با نانولیپوزوم احساس نکردند و در تمامی شاخص‌ها ارزیاب‌ها پایین‌ترین امتیاز را به نمونه برگر غنی‌شده با روغن ماهی خام اختصاص دادند. در تشابه با مطالعه حاضر، باروس و همکاران (۲۰۲۰) گزارش دادند که جایگزینی (۵۰ و ۱۰۰ درصد) چربی گوشت گاو توسط روغن بادام‌زمینی کپسوله شده در برگر تأثیری بر پارامترهای حسی ارزیابی شده ندارد (۱۸).

جدول ۴- ارزیابی حسی در تیمارهای مختلف برگر گوشت طی نگهداری در یخچال.

شاخص‌های حسی	شاهد	حاوی ۵ درصد روغن ماهی غیرلیپوزوم	حاوی ۱۰ درصد روغن ماهی غیرلیپوزوم	حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم	حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم
بافت	۵/۶۷ ± ۱/۰۳^{a}	۳/۶۷ ± ۱/۰۳^{b}	۲/۱ ± ۰/۱۰^{c}	۶/۶۷ ± ۰/۸۲^{a}	۶/۳۳ ± ۱/۰۳^{a}
طعم	۶/۳۳ ± ۱/۰۳^{a}	۲/۶۷ ± ۰/۸۲^{c}	۱ ± ۰/۰۰^{d}	۶/۶۷ ± ۰/۸۲^{a}	۵/۳۳ ± ۰/۸۲^{b}
بو	۵/۳۳ ± ۰/۸۲^{b}	۲/۶۷ ± ۰/۸۲^{c}	۱ ± ۰/۰۰^{d}	۷ ± ۰/۰۰^{a}	۶/۳۳ ± ۱/۰۳^{a}
رنگ	۵/۶۷ ± ۱/۰۳^{b}	۳/۶۷ ± ۱/۰۳^{c}	۲/۶۷ ± ۱/۵۱^{c}	۶/۶۷ ± ۰/۸۲^{ab}	۷ ± ۰/۰۰^{a}
پذیرش کلی	۶ ± ۱/۱۰^{a}	۲/۶۷ ± ۰/۸۲^{b}	۰/۰ ± ۰/۰۰^{c}	۶/۶۷ ± ۰/۸۲^{a}	۶/۶۷ ± ۰/۸۲^{a}

حروف غیرمشابه در هر سطر وجود اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) بین تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد

نتایج نشان داد که نمونه‌های حاوی نانولیپوزوم حامل روغن ماهی تفاوت معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) از نظر ویژگی‌های حسی مانند پذیرش کلی وظاهر، رنگ، بو، طعم، نسبت به نمونه شاهد نداشت وحتی بهتر از نمونه شاهد بود. رادر و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر کاربرد صمغ گوار به عنوان جایگزینی چربی بر خصوصیات کیفی گوشتابا (نوعی محصول سنتی هند) پرداختند وعنوان نمودند که نمونه‌های حاوی ۰/۵ درصد صمغ و نمونه شاهد تفاوت چشمگیری از نظر پذیرش کلی نداشتند (۲۷). نتایج بررسی ارزیاب‌ها در مطالعه حاضر نشان داد تمامی شاخص‌ها در نمونه برگر غنی‌شده با نانولیپوزوم در سطح قابل‌قبول برای مصرف‌کننده قرار داشت. بنابراین می‌توان دریافت نانوکپسوله کردن روغن ماهی در لیپوزوم به خوبی توانسته است عطر و طعم روغن ماهی را متعادل ساخته و آن را برای استفاده در فرآورده مطلوب سازد بدون آن‌که ظاهر و بافت فرآورده را به‌طور معنی‌دار تحت‌تأثیر قرار دهد و از

مقبولیت آن بکاهد. بنابراین استفاده از روغن ماهی نانولیپوزومه می‌تواند راهکاری مناسب برای تولید محصولی جدید، فراسودمند باشد که در بهبود کیفیت تغذیه‌ای مصرف‌کنندگان مؤثر است، هر چند برای صنعتی‌شدن این محصول، مطالعات بیش‌تری باید صورت گیرد.

نتایج ارزیابی رنگ: نتایج بررسی شاخص‌های روشنایی (L^*) و مؤلفه‌های a^* و b^* در برگرهای شاهد و تیمار شده بعد از فرآیند پخت در جدول ۵ آورده شده است. از نظر شاخص L^* که معرف میزان روشنایی است بین تیمار شاهد و تیمارهای حاوی روغن ماهی غیرلیپوزوم و لیپوزومه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P\leq ۰/۰۵$). بیش‌ترین میزان روشنایی در تیمار حاوی ۱۰ درصد لیپوزوم بود. در خصوص شاخص a^* (قرمزی - سبزی) بیش‌ترین میزان در تیمار حاوی ۵ درصد روغن ماهی غیرلیپوزوم و کم‌ترین در تیمار حاوی ۱۰ درصد حاوی روغن ماهی غیرلیپوزوم مشاهده گردید. ارزیابی شاخص b^* (زردی - آبی) اختلاف معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بین تیمار حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم با سایر تیمارها نشان نداد. با توجه به جدول مشاهده می‌گردد بیش‌ترین میزان ΔE مربوط به تیمار ۱۰ درصد نانولیپوزوم می‌باشد. با توجه به فاکتور ΔE این روند نشان‌دهنده روشن‌تر شدن رنگ همبرگر می‌باشد.

جدول ۵- ارزیابی شاخص‌های رنگ در برگرهای گوشت.

شاخص‌های رنگ	شاهد	حاوی ۵ درصد روغن ماهی غیرلیپوزوم	حاوی ۱۰ درصد روغن ماهی غیرلیپوزوم	حاوی ۵ درصد نانولیپوزوم	حاوی ۱۰ درصد نانولیپوزوم
L^*	۹۱/۰۷ ± ۰/۱۲^b	۸۹/۰ ± ۴۰/۱۰^c	۸۹/۴۰ ± ۰/۰۰^c	۸۹/۴۳ ± ۰/۲۵^c	۹۲/۲۳ ± ۰/۱۵^a
a^*	۳/۱۳ ± ۰/۱۵^b	۳/۸۷ ± ۰/۱۵^a	۳/۰۷ ± ۰/۰۶^b	۳/۸۷ ± ۰/۰۶^a	۳/۱۳ ± ۰/۰۶^b
b^*	۰/۸۰ ± ۰/۰۰^a	۰/۸۰ ± ۰/۰۱^a	۰/۷۹ ± ۰/۰۱^a	۰/۸۰ ± ۰/۰۰^a	۰/۰۰ ± ۰/۰۰^b
ΔE	۹۱/۱۷ ± ۰/۲۹^b	۸۹/۰ ± ۵۷/۳۱^c	۸۹/۰ ± ۶۰/۱۰^c	۸۹/۰ ± ۶۰/۱۷^c	۹۲/۰ ± ۲۲/۰۸^a

حروف لاتین غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) بین تیمارها می‌باشد

یکی از فاکتورهای مهم و مؤثر در رنگ فرآورده‌های گوشتی میزان چربی و نوع آن است. نتایج رنگ برگرها در پژوهش حاضر بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در شاخص روشنایی (شاخص L^*)، قرمزی (a^*) و زردی (b^*) بین تیمارها است. افزایش در روشنایی بافت برگرهای حاوی روغن ماهی نانولیپوزومه را می‌توان به حفظ رطوبت بالاتر در این تیمارها نسبت داد. پژوهش‌گران دریافتند غیرطبیعی شدن پروتئین‌ها و واکنش قهوه‌ای شدن لعاب و آرد سوخاری باعث ایجاد تغییرات پیچیده در رنگ بافت فرآورده می‌شوند (۳۵). حالت شیمیایی رنگدانه میوگلوبین، درصد چربی و غلظت پروتئین از جمله عوامل مؤثر بر قرمزی برگر گوشت می‌باشند (۳۶). در این راستا رادر و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی جایگزینی صمغ گوار به عنوان جایگزینی چربی در گوشتابا (نوعی محصول سنتی هند) پرداختند و عنوان نمودند که زردی (b*) نمونه‌های حاوی صمغ زانتان با افزودن ۱/۵ درصد صمغ به طور چشمگیری کاهش پیدا کرد (۲۷). با توجه به فاکتور ΔE این روند نشان‌دهنده روشن‌تر شدن رنگ همبرگر می‌باشد. علت روشن‌تر شدن رنگ همبرگرها، تغییر و افزایش میزان رطوبت و چربی می‌باشد که در نتیجه بر میزان واکنش

میلارد تأثیر گذاشته و آن را کاهش می‌دهد. این نتایج مشابه نتایج به‌دست آمده از پژوهش وارگاس- راملا و همکاران (۲۰۲۰) می‌باشد (۱۰).

نتیجه‌گیری

یافته‌های حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که خصوصیات اندازه ذرات و هم‌چنین مقادیر بار الکتریکی سطحی، میزان کارایی درون‌پوشانی نانولیپوزوم‌ها شرایط مجاز و مطلوبی برای استفاده از این ترکیبات در صنایع غذایی و دارویی را دارا می‌باشد. نتایج نشان داد که نانولیپوزوم‌ها در طی زمان نگهداری دارای ثبات اکسیداتیو بالاتری نسبت به نمونه روغن آزاد بودند که بیانگر نقش محافظتی بالای ساختار لیپوزومی در برابر فرآیند اکسیداسیون است. با بررسی ارزیابی بافت در برگر شاهد و غنی‌شده با روغن ماهی غیرلیپوزومی و نانولیپوزوم می‌توان دریافت، افزودن این ترکیب به‌صورت نانولیپوزوم اثرات سودمندی در بهبود بافت برگر گوشت داشت. نتایج ارزیابی حسی مشخص نمود از لحاظ شاخص پذیرش کلی، بافت و ظاهر بین برگر شاهد و برگر غنی شده با نانولیپوزوم‌های روغن ماهی تفاوتی مشاهده نگردید. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان از روغن ماهی کپسوله در نانولیپوزوم با هدف غنی‌سازی برگر گوشت بدون ایجاد بو و طعم نامطلوب استفاده نمود.

منابع

1. Ojagh, S.M., and Hasani, S. 2018. Characteristics and oxidative stability of fish oil nano-liposomes and its application in functional bread. J. Food Meas. Charact. 12: 1084-92.
2. Solomando, J., Antequera, T., and Perez-Palacios, T. 2020. Lipid digestion products in meat derivatives enriched with fish oil microcapsules. J. Funct. Foods. 68: 103916.
3. Rasti, B., Jinap, S., Mozafari, M.R., and Yazid, A.M. 2012. Comparative study of the oxidative and physical stability of liposomal and nanoliposomal polyunsaturated fatty acids prepared with conventional and Mozafari methods. Food chem. 135: 4. 2761-2770.
4. Ghorbanzade, T., Jafari, M., Akhavan, S., and Hadavi, R. 2017. Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. Food Chem. 216: 146-152.
5. Barros, C., Munekata, P., de Carvalho, F., Domínguez, R., Trindade, M., Pateiro, M., and Lorenzo, J. 2021. Healthy beef burgers: Effect of animal fat replacement by algal and wheat germ oil emulsions. Meat Sci. 173: 108396.
6. de Carvalho, F.A.L., Munekata, P.E.S., Lopes de Oliveira, A., Pateiro, M., Domínguez, R., Trindade, M.A., and Lorenzo, J.M. 2020. Turmeric (*Curcuma longa* L.) extract on oxidative stability, physicochemical and sensor properties of fresh lamb sausage with fat replacement by tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) oil. Int. Food Res. J. 136: 109487.
7. Lorenzo, J.M., Munekata, P.E.S., Pateiro, M., Campagnol, P.C.B., and Domínguez, R. 2016. Healthy Spanish salchichon enriched with encapsulated n-3 long chain fatty acids in konjac glucomannan matrix. Food Res. Int. 89: 289-295.
8. Alejandre, M., Poyato, C., Ansorena, D., and Astiasaran, I. 2016. Linseed oil gelled emulsion: A successful fat replacer in dry fermented sausages. Meat Sci. 121: 107-113.
9. Domínguez, R., Pateiro, M., Munekata, P.E.S., Campagnol, P.C.B., and Lorenzo, J.M. 2017. Influence of partial pork backfat replacement by fish oil on nutritional and technological properties of liver pate. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 119: 5. 1600178.
10. Vargas-Ramella, M., Munekata, P.E.S., Pateiro, M., Franco, D., Campagnol, P. C.B., Tomasevic, I., and Lorenzo, J.M. 2020. Physicochemical composition and nutritional properties of deer burger enhanced with healthier oils. Foods, 9: 5. 571.

11. Beheshtipour, H.A.M., Mortazavian, R., Mohammadi, S., and Khosravi, K. 2013. Supplementation of Spirulina platensis and Chlorella vulgaris algae into probiotic fermented milks. CRFSFS. 12: 144-154.
12. Tobin, B.D., OSullivan, M.G., Hamill, R.M., and Kerry, J.P. 2012. Effect of Varying Salt and Fat levels on the sensory quality of beef patties. Meat Sci. 91: 14. 460-465.
13. Keenan, D., Resconi, V., Smyth, T., Botinestean, C., Lefranc, C., Kerry, G., and Hamill, R. 2015. The effect of partial-fat substitutions with encapsulated and unencapsulated fish oils on the technological and eating quality of beef burgers over storage. Meat Sci. 107: 75-85.
14. AOAC. 2005. Official method of analysis (17th ed). Washington, DC: Association of official Analytical chemists.
15. Wu, J., Zhao, L., Xu, X., Bertrand, N., Choi, W.I., Yameen, B., Shi, J., Shah, V., Mulvale, M., and Maclean, J.L. 2015. Hydrophobic cysteine poly (disulfide)-based redox-hypersensitive nanoparticle platform for cancer theranostics. Angew. Chem. 127: 9350-9355.
16. Forutan, M., Hasani, M., Hasani, SH., Salehi, N., and Sabbagh, F. 2022. Liposome System for Encapsulation of Spirulina platensis Protein Hydrolysates: Controlled-Release in Simulated Gastrointestinal Conditions, Structural and Functional Properties. Materials. 15: 8581.
17. Haghdoost, A., Golestan, L., Hasani, M., Shahidi Noghabi, M., and Shahidi, S.A. 2022. Preparation of Nano-liposomes Carrying Phycobiliprotein Extracted from Red Algae (*Gracilaria gracilis*) with Chitosan Polymer Coating: Evaluation of Physicochemical, Antioxidant and Antimicrobial Properties. JRIFST. 11: 2. 109-122.
18. Barros, J.C., Munekata, P.E.S., de Carvalho, F.A.L., Pateiro, M., Barba, F.J., Domínguez, R., and Lorenzo, J.M. 2020. Use of tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) oil emulsion as animal fat replacement in beef burgers. Foods. 9: 1. 44.
19. Legako, J., and Dunford, N.T. 2010. Effect of spray nozzle design on fish oil–whey protein microcapsule properties. J. Food Sci. 75: 6. 394-400.
20. Mozafari, M.R., Johnson, C., Hatziantoniou, S., and Demetzos, C. 2008. Nanoliposomes and their applications in food nanotechnology. J. Liposome Res. 18: 4. 309-327.
21. Savaghebi, D., Barzegar, M., and Mozafari, M.R. 2020. Manufacturing of nanoliposomal extract from Sargassum boveanum algae and investigating its release behavior and antioxidant activity. Food Sci. Nutr. 8: 299-310.
22. Savaghebi, D., Ghaderi-Ghahfarokhi, M., and Barzegar, M. 2021. Encapsulation of Sargassum boveanum Algae Extract in Nano-liposomes: Application in Functional Mayonnaise Production. Food Bioprocess Technol. 14: 1311-1325.
23. Katouzian, I., and Taheri, R.A. 2021. Preparation, characterization and release behavior of chitosan-coated nanoliposomes (chitosomes) containing olive leaf extract optimized by response surface methodology. Food Sci. Technol. 58: 3430-3443.
24. Pires, M.A., Rodrigues, I., Barros, J.C., Carnauba, G., de Carvalho, F.A.L., and Trindade, M.A. 2020. Partial replacement of pork fat by Echium oil in reduced sodium bologna sausages: Technological, nutritional and stability implications. J. Sci. Food Agric. 100: 1. 410-420.
25. Yeo, E.J., Kim, H.W., Hwang, K.E., Song, D.H., Kim, Y.J., Ham, Y.K., He, F.Y., Park, J.H., and Kim, C.J. 2014. Effect of duck feet gelatin on physicochemical, textural, and sensory properties of low-fatfrankfurters. Korean J. Food Sci. Technol. 34: 4. 415-422.
26. Heck, R.T., Saldana, E., Lorenzo, J.M., Correa, L.P., Fagundes, M.B., Cichoski, A.J., and Campagnol, P.C.B. 2019. Hydrogelled emulsion from chia and linseed oils: A promising strategy to produce low-fat burgers with a healthier lipid profile. Meat Sci. 156: 174-182.

27.Rather, S.A., Masoodi, F.A., Akhter, R., Gani, A., Wani, S.M., and Malik, A.H. 2016. Effects of guar gum as fat replacer on some quality parameters of mutton goshtaba, a traditional Indian meat product. Small Ruminant Res. 137: 169-176.
28.Álvarez, D., Xiong, Y.L., Castillo, M., Payne, F.A., and Garrido, M.D. 2012. Textural and viscoelastic properties of pork frankfurters containing canola-olive oils, rice bran and walnut. Meat Sci. 92: 8-15.
29.Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W., and Lorenzo, J.M. 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. Antioxidants, 8: 10. 429.
30.Lopes, E., Maroneze, M.M., Deprá, M.C., Sartori, R.B., Dias, R.R., and Zepka, L.Q. 2017. Bioactive food compounds from microalgae: An innovative framework on industrial biorefineries. Curr. Opin. Food Sci. 25: 1-7.
31.Yossef, M.K., and Barbut, S. 2011. Fat reduction in comminuted meat product-Effects of beef fat, regular and pre- emulsified canola oil. Meat Sci. 87: 356-360.
32.Hosseini, F., Milani, E., and Bolurian., S. 2011. Effect of microcrystalline cellulose as a fat replacer on physicochemical, textural and sensory properties of low-fat hamburger. J. Food Ind. 3: 371-378.
33.Haghshenas, M., Hosseini, H., Nayebzadeh, K., Rashedi, H.R., and Rahmatzadeh, B. 2013. Effect of ß-glucan and carboxymethyl cellulose on sensory and physical properties of processed shrimp nuggets. Iran. J. Nutr. Sci. Food Technol. 8: 3. 65-72.
34.Choi, Y.S., Choi, J.H., Han, D.J., Kim, H.Y., Lee, M.A., Jeong, J.Y., Chung, H.J., and Kim, C.J. 2010. Effect of replacing pork fat with vegetable oils and bran fiber on the quality of reduced-fat frankfurters. Meat Sci. 84: 557-563.
35.Shabanpour, B., and Jamshidi, A. 2013. Salting and pre-drying effect of treatment on physical properties and the amount of oil uptake in nugget rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). J. Food Hyg. 4: 12. 41-53.
36.Tomasevic, I., Tomovic, V., Milovanovic, B., Lorenzo, J., Dordevi, V., Karabasil, N., and Djekic, I. 2019. Comparison of a computer vision system vs. traditional colorimeter for color evaluation of meat products with various physical properties. Meat Sci. 148: 5-12.