

(OPEN ACCESS)

Effect of adding oleogel based on fish gelatin and carrageenan on the surimi properties

Seyed Mehrdad Hassani-Azhdari¹, Seyed Vali Hosseini^{*2}, Gholamreza Askari³

1. Ph.D. Student of Seafood Processing, Dept. of Fisheries Engineering, Faculties of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mehrdad.azhdari@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Fisheries Engineering, Faculties of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: hosseinisv@ut.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Food Science and Engineering, Faculties of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: iraskari@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 04.28.2025

Revised: 06.01.2025

Accepted: 06.08.2025

Keywords:

Emogel,
Fish gelatin,
Oleogel,
Surimi,
Unsaturated fat,
 κ -carrageenan

ABSTRACT

Background and Objectives: Significant loss of healthy fats during surimi production reduces its nutritional value. While unsaturated fats provide health benefits, their direct addition can negatively impact the final product's texture. This study focused on developing emulsion-based oleogels (Emugel) with fish gelatin (FG) and κ -carrageenan (KC) to assess their effects on the color and texture of surimi.

Materials and Methods: Emugels were prepared using a combination of FG and KC to deliver a mixture of salmon and olive oil. For comparison, a positive control (containing liquid oil) and a negative control (without oil) were included. Subsequently, the color characteristics, as well as the rheological and textural properties, were evaluated.

Results: Emugels increased the whiteness in the surimi paste and gel compared to the control sample ($P < 0.05$). The addition of KC to FG enhanced the gel properties and thermal stability of the emogel. Additionally, Emugels exhibited positive effects on the rheological properties of surimi paste compared to the positive control, indicating that the Emugels could compensate for the negative effect of free oil on the gel structure. The hardness of surimi gels containing oil (free/Emugel) was lower compared to the negative control ($P < 0.05$). No significant difference was observed in the springiness and water holding capacity (WHC) of the samples ($P > 0.05$).

Conclusion: The results indicate that the Emugels based on FG and KC can be used as a substitute for liquid oil in surimi formulations while maintaining the desired quality and rheological properties of the product. These findings can aid in producing seafood products with higher nutritional value and improved sensory properties.

Cite this article: Hassani-Azhdari, Seyed Mehrdad, Hosseini, Seyed Vali, Askari, Gholamreza. 2026. Effect of adding oleogel based on fish gelatin and carrageenan on the surimi properties. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 15 (1), 173-191.



© The Author(s).

Doi: 10.22069/japu.2025.23588.1947

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر افزودن اولئوژل مبتنی بر ژلاتین ماهی و کاراگینان بر ویژگی‌های سوریمی

سید مهرداد حسنی اژدری^۱، سید ولی حسینی^{۲*}، غلامرضا عسکری^۳

۱. دانشجوی دکتری فرآوری محصولات شیلاتی، گروه مهندسی شیلات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: mehرداد.azhdari@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی شیلات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: hosseinisv@ut.ac.ir
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
رایانامه: iraskari@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: حذف شدن بخشی قابل‌توجهی از چربی‌های سالم گوشت ماهی در فرآیند تولید سوریمی موجب کاهش ارزش تغذیه‌ای آن می‌شود. استفاده مستقیم از چربی‌های غیراشباع گرچه اثرات سلامت‌بخشی دارد، به‌عنوان یک عامل محدودکننده بر کیفیت و پایداری محصول نهایی مطرح است. این پژوهش با هدف توسعه اولئوژل‌های امولسیون (اموژل) مبتنی بر ژلاتین ماهی و کاراگینان انجام شد تا اثر افزودن آن‌ها بر رنگ و ویژگی‌های بافتی سوریمی بررسی شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۸	
واژه‌های کلیدی: اموژل، اولئوژل، چربی غیراشباع، ژلاتین ماهی، سوریمی، کاراگینان	مواد و روش‌ها: در این مطالعه، اموژل‌ها از ترکیب ژلاتین ماهی و کاراگینان برای حمل مخلوط روغن ماهی سالمون و زیتون ساخته شدند. برای مقایسه، یک نمونه کنترل مثبت (حاوی روغن آزاد) و یک نمونه کنترل منفی (فاقد روغن) در نظر گرفته شد. سپس ویژگی‌های رنگ، خواص رئولوژیکی و بافتی مورد ارزیابی قرار گرفت.
	یافته‌ها: نتایج نشان داد که اموژل به‌دست آمده از ترکیب ژلاتین ماهی و کاراگینان، سفیدی را در خمیر و ژل سوریمی نسبت به نمونه کنترل افزایش داد ($P < 0.05$). طبق تغییرات مدول‌های ذخیره‌سازی و اتلاف، افزودن کاراگینان به ژلاتین ماهی موجب افزایش قدرت ژل و بهبود پایداری حرارتی اموژل شد. هم‌چنین خمیر سوریمی حاوی اموژل در مقایسه با کنترل مثبت، خواص رئولوژیکی بهبودیافته‌ای داشت که مشخص نمود اموژل‌ها توانسته‌اند اثر منفی روغن آزاد بر ساختار ژلی را جبران کنند. با این‌حال آزمون‌های بافت‌سنجی نشان داد که سختی ژل‌های سوریمی حاوی روغن (آزاد/ اموژل) نسبت به نمونه کنترل منفی کاهش یافته است.

($P < 0/05$). این درحالی است که تفاوت معنی‌داری در فنریت و ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها مشاهده نشد ($P > 0/05$).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه بیانگر آن است که اموزل‌های مبتنی بر ژلاتین ماهی و کاراگینان می‌توانند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای روغن مایع در فرمولاسیون سوریمی مورد استفاده قرار گیرند و درعین‌حال، ویژگی‌های کیفی و رئولوژیکی مطلوب محصول را حفظ نمایند. این یافته‌ها می‌توانند در راستای تولید محصولات دریایی با ارزش غذایی بالاتر و ویژگی‌های حسی بهبودیافته مورد استفاده قرار گیرند.

استناد: حسنی اژدری، سید مهرداد، حسینی، سید ولی، عسکری، غلامرضا (۱۴۰۵). اثر افزودن اولئوژل مبتنی بر ژلاتین ماهی و کاراگینان بر ویژگی‌های سوریمی. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۵ (۱)، ۱۹۱-۱۷۳.

Doi: 10.22069/japu.2025.23588.1947



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

سوریمی یک محصول حاصل از فرآوری ماهی است که طی مراحل چون صید، شست‌وشو، پالایش، آبگیری و خرد کردن به دست می‌آید (۱). طی فرایند شست‌وشو، بخش قابل‌توجهی از چربی‌های سالم به‌همراه پروتئین‌های محلول در آب از بافت ماهی حذف می‌شود که این امر موجب کاهش ارزش تغذیه‌ای شده و تأثیر منفی بر عطر و طعم محصول نهایی دارد. به همین دلیل، به‌طور معمول به‌منظور بهبود طعم و نیز ویژگی‌های حسی و ظاهری محصول نهایی از چربی‌ها و روغن‌های افزودنی استفاده می‌شود (۲، ۳، ۴ و ۵).

استفاده از چربی‌های حیوانی در تولید سوریمی به‌دلیل محتوای بالای کلسترول و اسیدهای چرب اشباع که اثرات نامطلوبی بر سلامت مصرف‌کنندگان دارد با محدودیت‌هایی همراه است (۶ و ۷). از سوی دیگر، افزودن مستقیم روغن‌های غیراشباع به دلیل ماهیت مایع آن‌ها می‌تواند باعث کاهش کیفیت و پایداری محصول نهایی گردد. به‌عنوان مثال، افزودن مستقیم روغن نارگیل موجب افزایش سفیدی ژل سوریمی شده، اما در عین حال تأثیر منفی بر خواص بافتی آن دارد (۸). هم‌چنین، در پژوهشی دیگر مشخص گردید که استفاده مستقیم از روغن‌های گیاهی منجر به تولید ژل سوریمی با ساختار سست‌تر، خواص بافتی نامطلوب و ظرفیت پایین نگهداری آب می‌گردد (۹). در این راستا، برخی بررسی‌ها نشان داده‌اند که امولسیون کردن روغن‌های مایع و تبدیل آن‌ها به ساختارهای نیمه جامد و یا جامد به‌طور چشمگیری خواص رئولوژیکی و بافتی ژل‌های میوفیبریلار را بهبود می‌بخشد (۱۰). بنابراین، به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب استفاده از چربی‌های غیراشباع، به‌کارگیری رویکردهای نوین جهت غلبه بر محدودیت‌های آن‌ها ضروری است.

در سال‌های اخیر، استفاده از اولئوژل‌ها به‌عنوان راهکاری نوین جهت جایگزین نمودن چربی‌های اشباع با چربی‌های غیراشباع در فرمولاسیون مواد غذایی، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. اولئوژل‌ها، سامانه‌های لیپیدی هستند که به‌طور معمول دارای ویژگی‌های برگشت‌پذیری حرارتی بوده و با محصور نمودن چربی‌های مایع غیراشباع در یک ساختار سه‌بعدی، رفتاری مشابه مواد نیمه جامد یا جامد از خود نشان می‌دهند (۱۱).

از جمله روش‌های تولید اولئوژل‌ها، استفاده از امولسیون ژل‌ها یا اموزل‌ها است (۱۲). ژل‌های امولسیونی موادی نرم و جامد هستند که از یک ساختار شبکه‌ای سه‌بعدی متشکل از پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و یا ترکیبی از آن‌ها تشکیل شده و دارای یک فاز پیوسته (ماتریکس ژل) و یک فاز پراکنده (امولسیون) می‌باشند. این مواد پتانسیل بسیار بالایی جهت جایگزینی چربی‌های اشباع در صنایع غذایی دارند (۱۳ و ۱۴).

از جمله پروتئین‌های مناسب جهت تولید اموزل‌ها، ژلاتین ماهی^۱ (FG) است که عمدتاً از ضایعات صنایع شیلاتی (مانند پوست، استخوان و فلس ماهی) استخراج شده و کاربردهای وسیعی در صنایع غذایی دارد (۱۵، ۱۶ و ۱۷). کاپا-کاراگینان^۲ (KC) نیز دسته‌ای از پلی‌ساکاریدهای سولفات‌ه است که از جلبک‌های دریایی قرمز استخراج شده و به دلیل ایمن بودن^۳ (GRAS) به‌طور گسترده‌ای در صنایع غذایی به‌عنوان عامل ژل‌کننده، غلظت دهنده و پایدارکننده مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۸ و ۱۹). اگرچه کاراگینان‌ها به‌تنهایی قابلیت پخش شدن در روغن را ندارند، اما می‌توان با ترکیب محلول کاراگینان با روغن و اعمال فرایند امولسیون‌سازی، ژل‌های امولسیونی پایداری را تولید نمود (۲۰، ۲۱ و ۲۲).

1- Fish gelatin

2- Kappa carrageenan

3- Generally recognized as safe

تهیه خمیر سوریمی: به منظور تهیه خمیر سوریمی، از روش توصیف شده توسط یانگ و یانگ (۱۹۸۶) با اعمال تغییرات جزئی استفاده شد (۲۴). ابتدا، فیله‌های ماهی آلاسکا پولاک به قطعات کوچک خرد شدند. سپس، قطعات خرد شده به مدت ۳۰ دقیقه با آب سرد (نسبت آب به گوشت ماهی ۳:۱ وزنی/وزنی) تحت هم زدن مداوم شسته شدند. این چرخه شستشو سه بار تکرار شد و در هر مرحله، آب اضافی از طریق اعمال فشار از گوشت ماهی جدا گردید. در آخرین مرحله شستشو، ۰/۱ درصد وزنی/وزنی نمک خوراکی به منظور تسهیل فرآیند آگیری به مخلوط اضافه شد. در ادامه، گوشت چرخ کرده ماهی به مدت ۱۰ دقیقه با ترکیبات محافظت کننده در برابر سرما شامل ۴ درصد شکر، ۴ درصد D- سوربیتول و ۰/۲ درصد تری پلی فسفات سدیم (بر اساس وزن گوشت) مخلوط گردید. در طول فرآیند تهیه سوریمی، دما به منظور جلوگیری از تخریب پروتئین و حفظ کیفیت بافت در محدوده زیر ۱۰ درجه سلسیوس حفظ گردید. خمیر سوریمی آماده شده در بسته بندی‌های کوچک تقسیم و تا زمان انجام آزمایش‌های بعدی در دمای منفی ۸۰ درجه سلسیوس نگهداری شد.

تهیه اولئوژل مبتنی بر امولسیون (اموژل): به منظور تهیه اموژل‌ها، از روش ذکر شده در مطالعه فونتنس-کاندیا و همکاران (۲۰۲۰) با اعمال تغییرات جزئی استفاده شد (۲۵). نخست محلول‌های ۲ درصد وزنی/حجمی FG و KC به صورت جداگانه تهیه و به ترتیب به مدت یک ساعت در دماهای ۶۰ و ۸۵ درجه سلسیوس هم زده شدند تا اطمینان حاصل شود که مواد کاملاً حل شده‌اند. سپس، این دو محلول با نسبت ۱:۱ مخلوط و به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس هم زده شدند تا محلول هیدروژل یکنواختی حاصل شود. به منظور تهیه فرم مزدوج محلول

با توجه به مطالب ذکر شده و افزایش تقاضا برای محصولات غذایی با ارزش تغذیه‌ای بالا، پژوهش حاضر با هدف توسعه یک اولئوژل بر پایه امولسیون حاصل از ژلاتین ماهی، کاراگینان و مخلوط آن‌ها انجام شد، به طوری که علاوه بر ایجاد ساختار مناسب در مخلوط روغن ماهی سالمون و روغن زیتون، بتواند ویژگی‌های بافتی و ظاهری سوریمی را بهبود بخشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، FG (TEREZA، روسیه) و KC (Marcel، فیلیپین) با درجه خوراکی تهیه شدند. پسماند حاصل از فیله کردن ماهی سالمون، شامل استخوان حاوی گوشت، سر و قطعات گوشت باقی مانده، جهت استخراج روغن مورد استفاده قرار گرفت. روغن زیتون، نمک، شکر و فیله ماهی آلاسکا پولاک (با ترکیب تقریبی ۱۶ درصد پروتئین و ۰/۸ درصد چربی) از فروشگاه‌های محلی تهیه شدند. D- سوربیتول و تری پلی فسفات سدیم نیز با درجه آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفتند.

استخراج روغن ماهی سالمون: روغن ماهی سالمون با استفاده از روش استخراج سرد و بر اساس مطالعه گلوواز- روزینسکا و همکاران (۲۰۱۶) با تغییرات جزئی، به دست آمد (۲۳). در این روش، ابتدا پسماند ماهی سالمون با آب مخلوط و با استفاده از هموژنایزر (JKA, Ultra-Turrax T18 digital، آلمان) در دور بالا همگن گردید تا سوسپانسیون تقریباً یکنواختی حاصل شود. سپس، سوسپانسیون حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سلسیوس و با شتاب $8500 \times g$ سانتریفیوژ گردید. فرآیند سانتریفیوژ دومرتبه تکرار شد و در هر مرحله، فاز رویی (حاوی روغن) جمع‌آوری شد تا در نهایت روغن خالص به دست آید.

سوریمی جهت سنجش رنگ و خواص رئولوژیکی جدا شدند.

به‌منظور تولید ژل سوریمی، نمونه‌های خمیر سوریمی آماده‌شده در لوله‌های پلاستیکی ریخته شدند. سپس، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند. پس‌از آن، بلافاصله به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سلسیوس حرارت داده‌شده و در نهایت، در حمام یخ قرار گرفتند تا فرآیند پخت متوقف شود (۵). نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش‌ها، در دمای یخچال نگهداری شدند. به‌منظور تسهیل در ارجاع، نمونه‌های خمیر سوریمی حاوی اموزل‌های EO1، EO2، EO3 و EO4، نمونه کنترل مثبت و نمونه کنترل منفی به ترتیب با نام‌های EP1، EP2، EP3، EP4، LP و CP کدگذاری شدند. هم‌چنین، ژل سوریمی از همان نمونه‌ها به ترتیب با کدهای EG1، EG2، EG3، EG4، LG و CG مشخص گردیدند.

سنجش رنگ و شاخص سفیدی: ویژگی‌های رنگی نمونه‌های اموزل، خمیر سوریمی و ژل سوریمی با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (Konica Minolta Chroma Meter CR-400، ژاپن) ارزیابی گردید. دستگاه با استفاده از استانداردهای L^* ، a^* و b^* کالیبره شد، به طوری که L^* نشان‌دهنده روشنایی^۲، a^* معرف میزان قرمزی (a^* +) یا سبزی (a^* -) و b^* نشان‌دهنده میزان زردی (b^* +) یا آبی (b^* -) بود (۲۹). شاخص سفیدی^۳ (W^*) با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$W^* = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

هیدروژل، بخشی از مخلوط محلول هیدروژل به دست آمده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا فرآیند مزدوج‌سازی^۱ بین FG و KC انجام شود. این فرآیند می‌تواند از طریق واکنش میلارد یا سایر برهم‌کنش‌های بین مولکولی رخ دهد. درجه پیوند (۲۶) و شاخص قهوه‌ای شدن (۲۷) به ترتیب $39/87 \pm 1/24$ درصد و $90/02 \pm 1/55$ به دست آمدند.

برای تهیه فاز روغنی، روغن ماهی سالمون و روغن زیتون با نسبت ۱:۱ مخلوط و با کد LO نام‌گذاری شد. سپس، به‌منظور تهیه اموزل‌ها، ۵۰ درصد حجمی روغن LO به آرامی و تحت هم زدن با سرعت بالا (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه) به محلول‌های هیدروژل (FG، KC) مخلوط آن‌ها و فرم مزدوج آن‌ها) افزوده شد و به مدت ۲ دقیقه هم زده شد تا امولسیون‌های پایدار تشکیل شوند. در نهایت، امولسیون‌های تهیه‌شده به مدت یک شبانه‌روز در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا قوام و پایداری آن‌ها افزایش یابد. اموزل‌های تهیه‌شده از KC، FG، KC، مخلوط آن‌ها و فرم مزدوج آن‌ها به ترتیب با نام‌های EO1، EO2، EO3 و EO4 نام‌گذاری شدند.

افزودن اموزل‌ها به خمیر سوریمی و تهیه ژل سوریمی: ابتدا خمیر سوریمی‌های منجمد در دمای محیط قرار داده شدند تا فرآیند ذوب انجام شود. سپس، نمک (۲/۵ درصد وزنی/وزنی) به خمیر اضافه و به مدت ۲ دقیقه مخلوط گردید. در ادامه، نمونه‌های اموزل (۱۰ درصد وزنی/وزنی) به خمیر افزوده و به خوبی مخلوط شدند (۲۸). نمونه حاوی روغن مایع (LO) با میزان ۱۰ درصد وزنی/وزنی به عنوان کنترل مثبت و نمونه سوریمی فاقد روغن به عنوان کنترل منفی در نظر گرفته شدند. بخشی از نمونه‌های خمیر

2- Luminosity
3- Whiteness index

1- Conjugation

گرفت (۵). بدین منظور، ابتدا ۱/۵ گرم از نمونه ژل سوریمی با دقت توزین شد (m1) و در یک لوله آزمایش حاوی کاغذ صافی قرار داده شد. سپس، یک لایه کاغذ صافی دیگر بر روی نمونه قرار گرفت و لوله به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سلسیوس و با شتاب $5500 \times g$ سانتریفیوژ گردید. پس از اتمام سانتریفیوژ، نمونه مجدداً توزین شد (m2). WHC نمونه‌های ژل سوریمی با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

$$WHC = (m1 \div m2) \times 100$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها: به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش‌ها، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. به این منظور، ابتدا آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) جهت بررسی وجود تفاوت‌های معنادار بین تیمارها در هر یک از متغیرهای مورد بررسی انجام شد. در صورت وجود تفاوت معنادار، از آزمون تعقیبی چند دامنه‌ای دانکن (Duncan's multiple range test) برای تعیین تفاوت‌های بین میانگین‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P < 0/05$) استفاده گردید.

نتایج و بحث

رنگ: رنگ و به‌ویژه سفیدی، یک شاخص کیفی مهم در ارزیابی ژل سوریمی است و به‌طور مستقیم بر انتخاب مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارد (۵ و ۲۹). نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های رنگی در جدول ۱ نشان می‌دهد که استفاده از اموزل در مقایسه با نمونه کنترل مثبت، به‌طور کلی موجب افزایش سفیدی در نمونه‌های خمیر و ژل سوریمی (به‌ویژه نمونه‌های EP3 و EG4) شده است ($P < 0/05$). از دلایل

سنجش خواص بافتی: به منظور ارزیابی خواص رئولوژیکی اموزل و خمیر سوریمی، از دستگاه رئومتر (Anton Paar) براساس روش غنی و همکاران (۲۰۱۸) با اعمال تغییرات جزئی استفاده شد (۸). آزمون رویش فرکانس^۱ در دامنه فرکانس ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز، با استفاده از کرنش ثابت انتخاب‌شده در ناحیه ویسکوالاستیک خطی^۲ (LVR) و در دمای محیط انجام شد. مدول‌های ذخیره‌سازی^۳ (G') و اتلاف^۴ (G'') به‌عنوان شاخص‌های ویسکوالاستیک اندازه‌گیری شدند. آزمون رویش دما^۵ نیز در بازه دمایی ۴ تا ۹۰ درجه سلسیوس و با کرنش ثابت واقع در ناحیه LVR انجام شد. به منظور برآورد کمی شاخص‌های ویسکوالاستیک نمونه‌ها، از نرم‌افزار RheoCompass استفاده گردید. این داده‌ها به منظور بررسی رفتار ویسکوز و الاستیک مواد و همچنین پایداری حرارتی آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

به منظور تجزیه و تحلیل بافتی ژل‌های سوریمی، از دستگاه بافت‌سنج (Perton، آمریکا) براساس روش لیو و همکاران (۲۰۱۹) با اعمال تغییرات جزئی استفاده شد (۱۰). نمونه‌های ژل سوریمی به قطعاتی با ارتفاع برابر با قطر آن‌ها برش داده شدند. فرآیند سنجش بافت در دو چرخه فشرده‌گی، با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه انجام پذیرفت. این تنظیمات به منظور شبیه‌سازی عمل جویدن و ارزیابی کمی بافت ژل سوریمی انتخاب شدند.

ظرفیت نگهداری آب: ظرفیت نگهداری آب^۶ (WHC) ژل‌های سوریمی با اعمال تغییرات جزئی در روش می و همکاران (۲۰۲۵) مورد سنجش قرار

- 1- Frequency sweep
- 2- Linear viscoelastic region
- 3- Storage modulus
- 4- Loss modulus
- 5- Temperature sweep
- 6- Water holding capacity

نسبت به EO3 شده است. این تغییرات نشان‌دهنده نقش ترکیبی ماتریس پلیمری، واکنش‌های شیمیایی و ساختار فازی در تعیین ویژگی‌های رنگی اولئوژل‌ها است. در همین راستا، شی و همکاران (۲۰۱۴) عنوان کردند که روغن‌های با سفیدی بالاتر و زردی پایین‌تر می‌توانند اثر سفیدکنندگی بهتری بر روی نمونه‌های ژل سوریمی داشته باشند (۳۶). با این حال، در برخی بررسی‌ها، افزودن اولئوژل منجر به کاهش سفیدی شده است. ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی از اولئوژل‌های ساخته شده از موم زنبور عسل و روغن ماهی در سوسیس سوریمی استفاده کردند و مشاهده شد که سفیدی تمام نمونه‌های اولئوژل در مقایسه با نمونه‌های گروه شاهد کاهش یافت (۳۷). آن‌ها علت این کاهش را افزودن ۱۰ درصد وزنی موم زنبور عسل عنوان کردند که رنگ زرد را ایجاد می‌کند. در پژوهش حاضر نیز، سفیدی نمونه‌های LP، LG و برخی نمونه‌های حاوی اموژل نسبت به نمونه‌های CP و CG کم‌تر بود. این کاهش علاوه بر ماهیت خود روغن مایع مورد استفاده، می‌تواند به ویژگی‌های رنگی هیدروژل به‌کاررفته برای تهیه اموژل نیز مرتبط باشد. بنابراین، انتخاب نوع روغن و هیدروژل مناسب می‌تواند در بهبود سفیدی و در نتیجه، کیفیت ظاهری سوریمی مؤثر باشد.

افزایش سفیدی در حضور اموژل می‌تواند ناشی از چسبیدن قطرات روغن به سطح سوریمی و ایجاد اثر پراکندگی نور باشد، به این صورت که بر اثر فرایند امولسیون‌سازی به دلیل کاهش اندازه قطرات روغن/ آب، سطح بیش‌تری از آن‌ها در معرض قرار می‌گیرند که موجب پراکندگی بیش‌تر نور می‌شود (۵ و ۳۰). هم‌چنین سفیدی نمونه‌های حاوی روغن تابعی از خصوصیات رنگی روغن (مایع، اولئوژل) افزوده شده به آن‌ها نیز می‌باشد (۲۹). چنان‌چه مشاهده می‌شود EO2 و EO3 روشنایی کم‌تری دارند که احتمالاً ناشی از تفاوت ماتریس‌های پلیمری و جذب نور بیش‌تر به دلیل ساختارهای شبکه‌ای آن‌ها است. KC نور را بیش‌تر جذب کرده و باعث کاهش بازتاب و افزایش تیرگی EO2 شود (۳۱ و ۳۲). FG نیز به‌عنوان یک ماتریس پروتئینی باعث پراکندگی بهتر روغن و نور شده و افزایش بازتاب نور را به دنبال دارد که منجر به افزایش روشنایی و سفیدی در EO1 می‌شود (۳۳ و ۳۴). ملانوئیدین‌ها و ترکیبات رنگی قهوه‌ای تا زرد ایجاد شده در واکنش میلارد افزایش a^* و b^* را در EO4 توجیه می‌کند (۳۵). در نمونه EO4، گرچه واکنش میلارد رخ داده است، احتمالاً ساختار اولئوژل و پراکندگی روغن‌ها باعث افزایش بازتاب نور و در نتیجه افزایش روشنایی و سفیدی

جدول ۱- رنگ‌سنجی اموزل‌ها، خمیر سوریمی و ژل سوریمی؛ داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار.

Table 1. Colorimetry of Emugel, surimi paste, and surimi gel samples; data are mean \pm SD.

سفیدی W*	آبی/زردی b*	سبزی/قرمزی a*	روشنایی L*	نمونه Sample
51.78 \pm 0.09 ^b	29.96 \pm 0.11 ^a	-0.15 \pm 0.02 ^e	62.22 \pm 0.08 ^b	 LO
48.48 \pm 0.77 ^d	22.84 \pm 0.52 ^b	3.55 \pm 0.09 ^a	53.96 \pm 0.6 ^c	 EO1
42.38 \pm 0.10 ^e	16.69 \pm 0.05 ^d	2.28 \pm 0.03 ^d	44.9 \pm 0.09 ^e	 EO2
49.63 \pm 0.14 ^c	16.19 \pm 0.06 ^e	2.47 \pm 0.03 ^c	52.37 \pm 0.13 ^d	 EO3
60.38 \pm 0.26 ^a	20.17 \pm 0.07 ^c	2.79 \pm 0.02 ^b	66.02 \pm 0.27 ^a	 EO4
67.54 \pm 1.54 ^b	3.72 \pm 0.57 ^d	-2.77 \pm 0.04 ^e	67.88 \pm 1.62 ^b	 CP
59.61 \pm 0.42 ^d	9.40 \pm 0.31 ^a	-0.06 \pm 0.05 ^a	60.72 \pm 0.46 ^d	 LP
64.25 \pm 0.47 ^c	9.04 \pm 0.13 ^b	-0.25 \pm 0.08 ^b	65.42 \pm 0.5 ^c	 EP1
66.8 \pm 0.33 ^b	8.13 \pm 0.32 ^c	-0.54 \pm 0.12 ^c	67.81 \pm 0.29 ^b	 EP2
69.89 \pm 0.34 ^a	8.14 \pm 0.06 ^c	-0.71 \pm 0.05 ^d	71.02 \pm 0.37 ^a	 EP3
66.87 \pm 1.1 ^b	7.88 \pm 0.21 ^c	-0.67 \pm 0.07 ^d	67.83 \pm 1.1 ^b	 EP4
61.39 \pm 0.53 ^c	8.64 \pm 0.12 ^d	-1.89 \pm 0.06 ^d	62.41 \pm 0.54 ^d	 CG
57.83 \pm 0.43 ^c	12.40 \pm 0.16 ^a	-0.98 \pm 0.06 ^a	59.71 \pm 0.41 ^f	 LG
61.69 \pm 0.91 ^c	10.64 \pm 0.19 ^b	-1.02 \pm 0.08 ^a	63.21 \pm 0.94 ^c	 EG1
60.43 \pm 0.55 ^d	10.25 \pm 0.24 ^c	-1.28 \pm 0.07 ^c	61.80 \pm 0.53 ^e	 EG2
62.46 \pm 0.37 ^b	10.72 \pm 0.36 ^b	-1.17 \pm 0.04 ^b	64.04 \pm 0.48 ^b	 EG3
66.69 \pm 0.41 ^a	10.18 \pm 0.20 ^c	-1.27 \pm 0.05 ^c	68.31 \pm 0.39 ^a	 EG4

*حروف کوچک در یک ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی ($P < 0.05$)

از آزمون روبش دمایی برای ارزیابی خواص ویسکوالاستیک اموزل‌ها در طول عملیات حرارتی استفاده شد (شکل ۲). نتایج این آزمون نشان داد که مقادیر G' و G'' در اموزل‌های ساخته شده با FG و KC در محدوده دمایی ۴-۹۰ درجه سلسیوس کاهش یافته است. شدت این کاهش برای نمونه ساخته شده با ژلاتین ماهی (EO1) نسبت به دیگر اموزل‌ها شدیدتر بود. نمونه EO2 پایداری حرارتی بیشتری داشت (کاهش G' و G'' کم‌تر بود) و پس‌از آن نمونه EO4 قرار داشت که ناشی از ترکیب مزدوج FG و KC است. به‌طور کلی، روند کاهش G' و G'' در اموزل‌های حاوی KC نشان می‌دهد که این اموزل‌ها را می‌توان به لحاظ حرارتی پایدار در نظر گرفت. این ویژگی نشان‌دهنده پتانسیل خوب آن‌ها جهت استفاده در فرآورده‌های شیلاتی است (۴۰ و ۴۱).

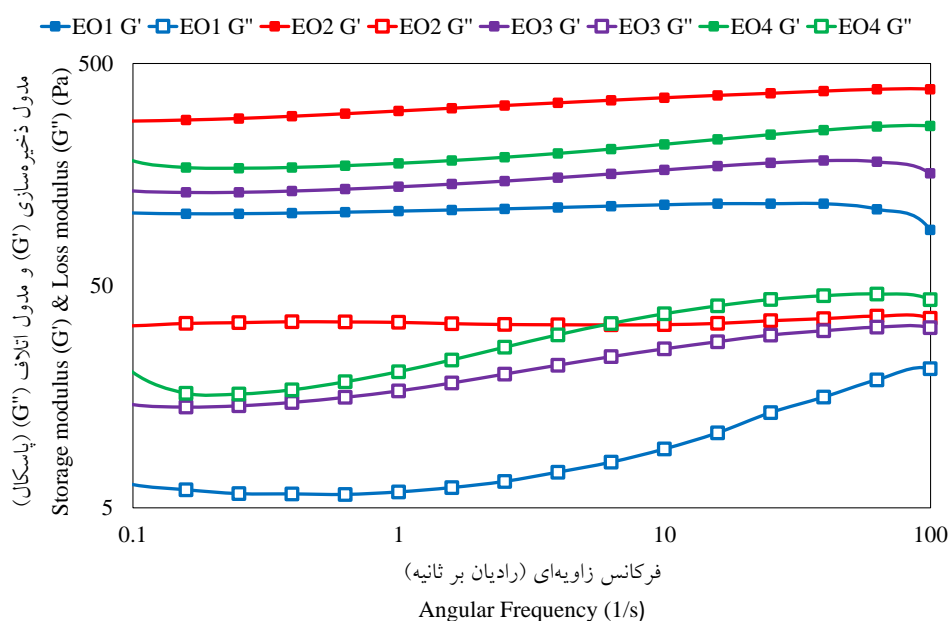
آزمون روبش دمایی نقش کمک‌کننده‌ای را در پژوهش‌های بیشتر در مورد ژل شدن محصولات سوریمی در فرآیندهای پیچیده تولید و فرآوری ایفا می‌کند (۲۹) نتایج آزمون روبش دمایی نمونه‌های خمیر سوریمی (شکل ۳) نشان می‌دهد که روند تغییرات G' و G'' به‌طور مستقیم با دنا توره شدن پروتئین‌ها مرتبط است (۱۱). بر اساس مطالعات قبلی، فرآیند حرارت‌دهی را می‌توان به سه مرحله قابل تشخیص برای نمونه‌های سوریمی تقسیم کرد (۴۲، ۴۳ و ۴۴)، فاز اول مربوط به فرآیند حرارت‌دهی از ۱۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس است که نشان‌دهنده تشکیل شبکه پروتئینی اولیه است. فاز دوم برای دامنه حرارتی ۴۰ تا ۴۹ درجه سلسیوس است که نشان‌دهنده ضعیف شدن ژل است. فاز سوم برای حرارت‌دهی بالاتر از ۴۹ درجه سلسیوس است و نشان‌دهنده ایجاد یک ساختار ژل نسبتاً قوی می‌باشد.

ویژگی‌های بافتی اموزل و خمیر سوریمی: به‌منظور بررسی ساختار شبکه اموزل‌ها و ارزیابی تأثیر افزودن آن‌ها بر خواص رئولوژیکی خمیر سوریمی، از آزمون روبش فرکانس و روبش دمایی استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در تمامی نمونه‌های اموزل، مقادیر G' از G'' در محدوده فرکانس اندازه‌گیری شده بالاتر بود، که نشان‌دهنده غالب بودن ساختار ژلی و رفتار "جامد گونه" است (۳۷). این یافته بیانگر تشکیل یک ساختار شبکه‌ای پایدار در اموزل‌ها است. در اموزل‌های حاوی KC، مقادیر G' و G'' نسبت به اموزل حاوی FG بیشتر بود. این تفاوت می‌تواند به دلیل اثر شکل‌گیری خود به خودی^۱ KC باشد (۳۸). به عبارت دیگر، KC به دلیل ساختار مولکولی خود، تمایل بیشتری به تشکیل شبکه‌های ژلی دارد. همچنین، سینتاسامران و همکاران (۲۰۱۷) بیان کرده‌اند که پلیمری زیستی که ابتدا تشکیل ژل می‌دهد، عمدتاً ساختار ژل نهایی را تعیین می‌کند (۳۱). این پدیده احتمالاً در ژل‌های مخلوط KC و FG نیز وجود دارد و KC نقش تعیین‌کننده‌تری در ساختار شبکه ژلی ایفا می‌کند. همسو با این یافته‌ها، تاورنیر و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کرده‌اند که در فرآیند تهیه اولئوزل‌های بر پایه امولسیون، افزودن پلی‌ساکاریدها در کنار پروتئین‌ها می‌تواند به ایجاد شبکه‌های ژلی با قدرت بیشتر کمک کند (۳۹). این اثر می‌تواند ناشی از افزایش گرانیوی فاز آبی و بهبود برهم‌کنش‌های بین پلی‌ساکارید و پروتئین باشد. علاوه بر این، مقدار G' و G'' در نمونه EO4 نسبت به نمونه EO3 کمی بالاتر بود. این افزایش می‌تواند به دلیل تشکیل پیوندهای عرضی بین FG و KC طی فرآیند گلیکولیزاسیون باشد (۲۷).

1- Self assembling

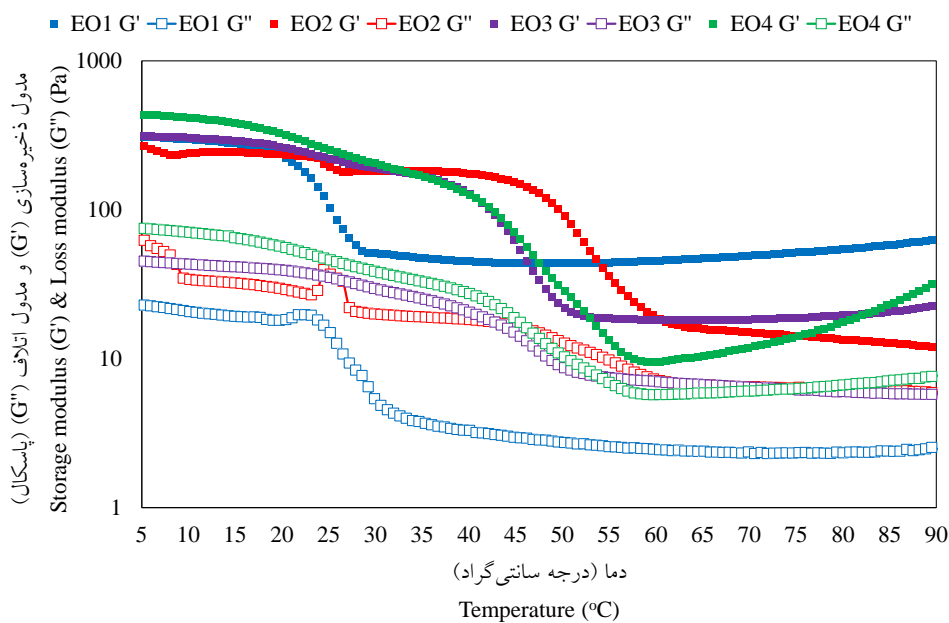
مولکول‌های پروتئین تجزیه نشده بوده و در نتیجه شبکه ژل بهبود می‌یابد (۴۶). مقادیر G' نشان داد که افزودن روغن مایع (نمونه LP) موجب تضعیف ساختارهای شبکه پروتئینی می‌شود، در حالی که در نمونه‌های حاوی اموژل (EP1 تا EP4)، این مقادیر با نمونه CP تقریباً برابر بوده و اموژل‌ها در مقایسه با حالت آزاد روغن موجب حفظ نسبی شبکه پروتئینی شدند، این یافته بیانگر آن است که استفاده از اموژل می‌تواند به حفظ ساختار شبکه‌ای سوریمی در حضور روغن کمک کند (۴۷). مدول G'' روندی مشابه با G' را برای نمونه‌ها نشان داد، با این تفاوت که مقادیر G'' بسیار پایین‌تر از مقادیر G' بود که همان‌طور که عنوان شد، نشان‌دهنده یک رفتار ژل‌مانند الاستیک است.

در طول تشکیل شبکه پروتئینی اولیه، پروتئین‌ها دناتوره می‌شوند و تحت فعل و انفعالات مختلفی قرار می‌گیرند که منجر به تجمع و نزدیک شدن آن‌ها به یکدیگر می‌شود (۴۴). در مرحله تضعیف ژل، پروتئین‌ها شکسته می‌شوند و ساختار شبکه اکتین-میوزین توسط آنزیم‌های پروتئولیتیک درون‌زا که در این محدوده دما فعال می‌شوند، مختل می‌شود. در نتیجه، تحرک پروتئین افزایش می‌یابد و غلظت پروتئین‌هایی که از نظر ساختاری دست‌نخورده باقی مانده‌اند کاهش می‌یابد که باعث کاهش G' می‌شود (۴۵). دناتوره شدن شبکه‌های اکتین-میوزین و زنجیره‌های سنگین میوزین، گروه‌ها و دامنه‌های واکنش‌پذیر بیشتری را در طول مرحله تقویت ژل در دسترس قرار می‌دهد که نتیجه آن تسهیل تعامل بین



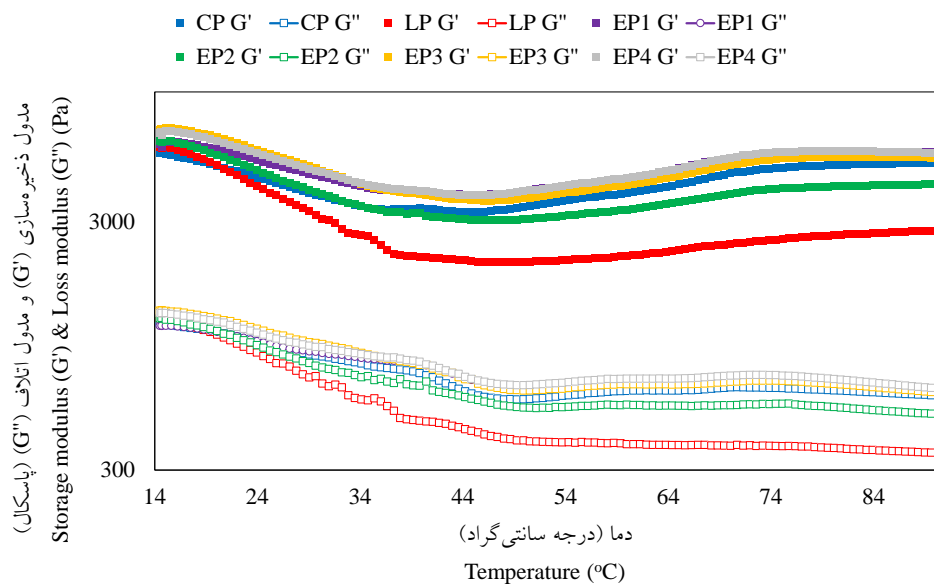
شکل ۱- رویش فرکانس نمونه‌های اموژل.

Figure 1. Frequency sweep of Emogel samples.



شکل ۲- روبش دمایی نمونه‌های اموژل.

Figure 2. Temperature sweep of Emogel samples.



شکل ۳- روبش دمایی نمونه‌های خمیر سوریمی.

Figure 3. Temperature sweep of surimi paste samples.

مطابق با نتایج این بررسی، کاهش شاخص‌های بافتی در نمونه‌های ژل سوریمی حاوی روغن (آزاد/امولسیون) می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از جمله حساسیت ذاتی بیشتر روغن‌های مورد استفاده نسبت به اکسیداسیون (۴۸)، توزیع متفاوت قطرات روغن در ساختار ژل (۱۰)، برهم‌کنش‌های احتمالی بین روغن و پروتئین، فرمولاسیون کلی محصول و میزان رطوبت موجود در ژل سوریمی باشد (۲). شایان‌ذکر است که نتایج مختلفی در این زمینه گزارش شده است. ژیاو و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که افزودن روغن ماهی تأثیر معناداری بر شاخص‌های بافتی ژل سوریمی ندارد (۲). در مقابل، دبوکا و همکاران (۲۰۱۳) و ژو و همکاران (۲۰۱۷) به این نتیجه رسیدند که استفاده از ترکیبات لیپیدی مختلف با منشأ گیاهی یا دریایی می‌تواند منجر به تغییرات قابل‌توجهی در خواص بافتی خمیر سوریمی گردد (۴۹ و ۵۰). لیو و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که استفاده از امولسیون حاوی روغن بادام‌زمینی و پروتئین سویا می‌تواند تأثیر منفی بر شاخص‌های بافتی سوسیس سوریمی داشته باشد، درحالی‌که استفاده از امولسیون حاوی گلوکومانان^۱ موجب بهبود آن‌ها می‌شود (۱۰). این پژوهش‌گران بیان نمودند که نحوه پراکندگی گلبول‌های چربی در فرمولاسیون می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های بافتی محصول داشته باشد.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر ویژگی‌های بافتی ژل‌های سوریمی، از آزمون بافت‌سنجی در دو چرخه فشردگی استفاده شد (۱۱). نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۲ ارائه گردیده است. نتایج آزمون نشان داد که مقدار سختی که نشان‌دهنده نیروی مورد نیاز برای فشردگی نمونه برای رسیدن به یک تغییر شکل معین است (۸)، در نمونه‌های حاوی روغن (به دو شکل آزاد و امولسیونی) در مقایسه با نمونه کنترل (CG) کاهش یافته است ($P < 0/05$). این در حالی است که بین نمونه‌های حاوی روغن، تفاوتی در این شاخص مشاهده نگردید ($P > 0/05$). غنی و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش نمودند که افزودن ۱۰ درصد روغن نارگیل سبب کاهش معنادار سختی در ژل سوریمی می‌شود، درحالی‌که استفاده از ۵ درصد روغن نارگیل تغییر چشمگیری در مقایسه با نمونه کنترل ایجاد نکرد (۸). هم‌چنین شاخص فنریت، که بازیابی الاستیکی است که هنگام حذف نیروی فشاری رخ می‌دهد (۸)، در بین تمامی نمونه‌های ژل سوریمی تفاوتی نداشت ($P > 0/05$). این امر بیانگر آن است که افزودن روغن، چه به‌صورت آزاد و چه به شکل امولسیونی، تأثیر قابل‌توجهی بر خاصیت الاستیسیته و میزان بازگشت‌پذیری نمونه‌ها نداشته است. میزان هم‌پیوستگی یا انسجام در نمونه CG بالاتر از سایر نمونه‌ها گزارش گردید ($P > 0/05$). این نتیجه بیانگر آن است که افزودن روغن، چه به‌صورت آزاد و چه به فرم امولسیونی، می‌تواند منجر به کاهش انسجام ساختار ژل و یکپارچگی بافت گردد. شاخص جویدن که نمایانگر میزان انرژی مورد نیاز برای جویدن یک ماده غذایی جامد تا مرحله آماده شدن برای بلع است (۸)، تابعی از دو شاخص سختی و بهم‌پیوستگی نمونه‌ها می‌باشد. براساس نتایج، مقدار شاخص جویدن در نمونه CG بالاتر از دیگر بود ($P < 0/05$).

جدول ۲- بافت‌سنجی و ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها؛ داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار.

Table 2. Texture profile analysis and Water Holding Capacity of surimi gels; data are mean \pm SD.

نمونه	سختی (نیوتن)	فنریت	بهم پیوستگی	جویدن	ظرفیت نگهداری آب (درصد)
Sample	Firmness (N)	Springiness	Cohesiveness	Chewiness	Water Holding Capacity (%)
CG	28.36 \pm 1.22 ^a	0.83 \pm 0.02 ^a	0.39 \pm 0.01 ^a	1116.21 \pm 48.07 ^a	58.74 \pm 2.79 ^a
LG	19.19 \pm 1.50 ^b	0.80 \pm 0.04 ^{ab}	0.35 \pm 0.02 ^{bc}	679.97 \pm 83.77 ^b	58.47 \pm 0.92 ^a
EG1	17.92 \pm 0.50 ^b	0.75 \pm 0.02 ^b	0.30 \pm 0.02 ^d	559.98 \pm 33.31 ^c	60.37 \pm 0.06 ^a
EG2	18.45 \pm 1.95 ^b	0.77 \pm 0.07 ^{ab}	0.35 \pm 0.02 ^b	664.74 \pm 71.15 ^{bc}	57.59 \pm 1.75 ^a
EG3	17.74 \pm 2.15 ^b	0.77 \pm 0.08 ^{ab}	0.32 \pm 0.02 ^{cd}	583.88 \pm 94.96 ^{bc}	58.01 \pm 1.12 ^a
EG4	17.32 \pm 1.46 ^b	0.81 \pm 0.02 ^{ab}	0.33 \pm 0.03 ^{bc}	589.72 \pm 97.03 ^{bc}	58.12 \pm 7.42 ^a

*حروف کوچک در یک ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی ($P < 0.05$)

را کاهش دهد. امولسیون‌های روغن در آب، در صورتی که به درستی تثبیت شوند، معمولاً کم‌ترین تأثیر را بر WHC نشان می‌دهند. گزارش‌ها نشان می‌دهند که امولسیون‌های روغن در آب شبکه ژل سوریمی را مختل نمی‌کنند و اجازه می‌دهند احتباس آب پایدار بماند (۵۲ و ۵۳).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از امولژهای مبتنی بر FG و KC به‌عنوان جایگزینی برای چربی‌های اشباع در فرمولاسیون سوریمی، می‌تواند علاوه بر تأثیرات مثبت بر برخی از ویژگی‌های ظاهری، برخی از قابلیت‌های بافتی آن را نیز تحت تأثیر قرار دهد. نتایج نشان داد که افزودن امولژها به سوریمی باعث افزایش شاخص سفیدی و بهبود پایداری حرارتی نمونه‌ها شد، در حالی که خواص بافتی نمونه‌ها تا حد زیادی مشابه باقی ماند. این امر نشان‌دهنده توانایی امولژها در حفظ ساختار شبکه پروتئینی سوریمی و کاهش اثرات منفی افزودن مستقیم روغن‌های مایع است. با این حال کاهش اندک شاخص‌های بافتی مانند سختی و انسجام در

ظرفیت نگهداری آب ژل سوریمی: WHC به‌عنوان یک شاخص کلیدی در ارزیابی پایداری ژل‌های سوریمی مطرح است. این ویژگی، بیانگر توانایی ژل در حفظ آب در ساختار خود و جلوگیری از خروج آن در طی فرآیندهای پخت و فرآوری است (۵۱). در پژوهش حاضر، نتایج حاصل از آزمون WHC در جدول ۲ ارائه شده است. برخلاف برخی بررسی‌های پیشین که در آن‌ها افزودن اولئوزل (۱۱) یا روغن آزاد (۴۹) منجر به افزایش WHC شده بود، تفاوتی در WHC نمونه‌های مختلف مشاهده نشد ($P > 0.05$). این مغایرت می‌تواند ناشی از مکانیسم‌های مختلفی باشد. از دلایل افزایش WHC می‌تواند تشکیل ساختارهای شبکه‌ای متراکم‌تر و یکنواخت‌تر در حضور اولئوزل باشد (۱۱). همچنین، پیشنهاد شده است که روغن می‌تواند با پوشاندن ذرات سوریمی، از خروج آب جلوگیری کند (۴۹). با این حال، در پژوهشی دیگر، افزایش محتوای روغن‌های گیاهی منجر به کاهش WHC شد که دلیل آن کاهش محتوای پروتئین سوریمی گزارش شد (۳۶). استفاده از امولژ در فرمولاسیون سوریمی می‌تواند اثر منفی احتمالی روغن بر ظرفیت اتصال به آب پروتئین‌های سوریمی

محصول نهایی داشته باشند. این روش نه تنها ارزش تغذیه‌ای سوریمی را افزایش می‌دهد، بلکه پتانسیل قابل توجهی برای توسعه محصولات غذایی سالم‌تر با کیفیت بالا دارد. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده بر روی بهینه‌سازی فرمولاسیون اموزل‌ها و بررسی تأثیر آن‌ها بر سایر ویژگی‌های حسی و ماندگاری محصولات غذایی متمرکز شود.

نمونه‌های حاوی اموزل نسبت به CG می‌تواند به حضور فاز روغنی پراکنده در ماتریس پروتئینی مرتبط باشد. به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که اموزل‌های مبتنی بر FG و KC می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای چربی‌های اشباع در محصولات سوریمی مورد استفاده قرار گیرند، بدون اینکه تأثیر منفی قابل توجهی بر ویژگی‌های عملکردی

منابع

- Xiong, Z., Shi, T., Jin, W., Bao, Y., Monto, A.R., Yuan, L., & Gao, R. (2024). Gel performance of surimi induced by various thermal technologies: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(10), 3075-3090. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2130154>.
- Jiao, X., Cao, H., Fan, D., Huang, J., Zhao, J., Yan, B., Zhou, W., Zhang, W., Ye, W., & Zhang, H. (2019). Effects of fish oil incorporation on the gelling properties of silver carp surimi gel subjected to microwave heating combined with conduction heating treatment. *Food Hydrocolloids*, 94, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.017>.
- Lu, Y., Zhu, Y., Ye, T., Nie, Y., Jiang, S., Lin, L., & Lu, J. (2022). Physicochemical properties and microstructure of composite surimi gels: The effects of ultrasonic treatment and olive oil concentration. *Ultrasonics sonochemistry*, 88, p.106065. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106065>.
- Yu, J., Song, L., Xiao, H., Xue, Y., & Xue, C. (2022). Structuring emulsion gels with peanut protein isolate and fish oil and analyzing the mechanical and microstructural characteristics of surimi gel. *Lwt*, 154, p.112555. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112555>.
- Mi, H., Tan, M., Li, J., Li, X., & Chen, J. (2025). Comparison of the effect of vegetable oil and oleogels with different unsaturation on gel properties of *Nemipterus virgatus* surimi. *Food Chemistry*, 463, p.141259. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141259>.
- Baum, S. J., Kris-Etherton, P. M., Willett, W. C., Lichtenstein, A. H., Rudel, L. L., Maki, K. C., Whelan, J., Ramsden, C. E., & Block, R.C. (2012). Fatty acids in cardiovascular health and disease: a comprehensive update. *Journal of clinical lipidology*, 6(3), 216-234. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2012.04.077>.
- Moghtadaei, M., Soltanizadeh, N., & Goli, S. A. H. (2018). Production of sesame oil oleogels based on beeswax and application as partial substitutes of animal fat in beef burger. *Food Research International*, 108, 368-377. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.051>.
- Gani, A., Benjakul, S., & Nuthong, P. (2018). Effect of virgin coconut oil on properties of surimi gel. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 496-505. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2958-0>.
- Song, C., Lin, Y., Hong, P., Liu, H., & Zhou, C. (2022). Compare with different vegetable oils on the quality of the *Nemipterus virgatus* surimi gel. *Food Science & Nutrition*, 10(9), 2935-2946. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2889>.
- Liu, X., Ji, L., Zhang, T., Xue, Y., & Xue, C. (2019). Effects of pre-emulsification by three food-grade emulsifiers on the properties of emulsified surimi sausage. *Journal of Food Engineering*, 247, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.018>.

11. Zhang, R., Zhang, T., Hu, M., Xue, Y., & Xue, C. (2021). Effects of oleogels prepared with fish oil and beeswax on the gelation behaviors of protein recovered from Alaska Pollock. *Lwt*, 137, p.110423. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110423>.
12. Dickinson, E. (2012). Emulsion gels: The structuring of soft solids with protein-stabilized oil droplets. *Food hydrocolloids*, 28(1), 224-241. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.017>.
13. Poyato, C., Ansorena, D., Berasategi, I., Navarro-Blasco, Í., & Astiasarán, I. (2014). Optimization of a gelled emulsion intended to supply ω -3 fatty acids into meat products by means of response surface methodology. *Meat Science*, 98(4), 615-621. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.016>.
14. Giarnetti, M., Paradiso, V. M., Caponio, F., Summo, C., & Pasqualone, A. (2015). Fat replacement in shortbread cookies using an emulsion filled gel based on inulin and extra virgin olive oil. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 339-345. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.063>.
15. Lv, L. C., Huang, Q. Y., Ding, W., Xiao, X. H., Zhang, H. Y., & Xiong, L. X. (2019). Fish gelatin: The novel potential applications. *Journal of Functional Foods*, 63, p.103581. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103581>.
16. Hu, Z. Z., Sha, X. M., Huang, T., Yuan, C. H., Chen, W. M., Li, X. X., & Tu, Z. C. (2021). Gelling properties and structure modification of tilapia skin gelatin by the addition of γ -polyglutamic acid at different pH levels. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 5812-5823. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15198>.
17. Lin, S., Cai, X., Chen, H., Xu, Y., Wu, J., & Wang, S. (2022). Development of fish gelatin-chitooligosaccharide conjugates through the Maillard reaction for the encapsulation of curcumin. *Current Research in Food Science*, 5, 1625-1639. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.09.019>.
18. Necas, J., & Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: a review. *Veterinarni medicina*, 58(4), 187-205. DOI: 10.17221/6758-VETMED.
19. Zia, K. M., Tabasum, S., Nasif, M., Sultan, N., Aslam, N., Noreen, A., & Zuber, M. (2017). A review on synthesis, properties and applications of natural polymer based carrageenan blends and composites. *International journal of biological macromolecules*, 96, 282-301. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.095>.
20. Perrechil, F. A., & Cunha, R. L. (2013). Stabilization of multilayered emulsions by sodium caseinate and κ -carrageenan. *Food Hydrocolloids*, 30(2), 606-613. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.08.006>.
21. de Souza Paglarini, C., de Figueiredo Furtado, G., Biachi, J. P., Vidal, V. A. S., Martini, S., Forte, M. B. S., Cunha, R. L. & Pollonio, M. A. R. (2018). Functional emulsion gels with potential application in meat products. *Journal of Food Engineering*, 222, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.026>.
22. Iqbal, S., Xu, Z., Huang, H., & Chen, X. D. (2019). Structuring of water-in-oil emulsions using controlled aggregation of polysaccharide in aqueous phases. *Journal of Food Engineering*, 258, 34-44. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.008>.
23. Głowacz-Różyńska, A., Tynek, M., Malinowska-Pańczyk, E., Martysiak-Żurowska, D., Pawłowicz, R., & Kołodziejka, I. (2016). Comparison of oil yield and quality obtained by different extraction procedures from salmon (*Salmo salar*) processing byproducts. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(11), 1759-1767. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500269>.
24. Yang, T. C., & Yang, A. P. (1986). Squid tentacle protein: extraction and its effects on the quality of Atlantic pollock surimi gels. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*,

- 19(4), 158-162. [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(86\)71623-4](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(86)71623-4).
25. Fontes-Candia, C., Ström, A., Lopez-Sanchez, P., López-Rubio, A., & Martínez-Sanz, M. (2020). Rheological and structural characterization of carrageenan emulsion gels. *Algal Research*, 47, p.101873. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101873>.
26. Zhuo, X. Y., Qi, J. R., Yin, S. W., Yang, X. Q., Zhu, J. H., & Huang, L. X. (2013). Formation of soy protein isolate-dextran conjugates by moderate Maillard reaction in macromolecular crowding conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2), 316-323. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5760>.
27. Ding, K., Geng, H., Guo, W., Sun, W., Zhan, S., Lou, Q., & Huang, T. (2023). Ultrasonic-assisted glycosylation with κ -carrageenan on the functional and structural properties of fish gelatin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(11), 5322-5331. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12600>.
28. Yang, X., Tan, Z., Wang, Z., Yu, X., Wang, Q., Yu, C., & Dong, X. (2025). Structural Characterization and Application of Oleogel-Based Soy Protein Isolate- κ -Carrageenan: a Promising Approach for Surimi Product Development. *Food and Bioprocess Technology*, 18(3), 2602-2617. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03604-9>.
29. Tan, Z., Yang, X., Wang, Z., Chen, Z., Pan, J., Sun, Q., & Dong, X. (2024). Konjac glucomannan-assisted fabrication of stable emulsion-based oleogels constructed with pea protein isolate and its application in surimi gels. *Food Chemistry*, 443, p.138538. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138538>.
30. Lv, Y., Zhao, H., Xu, Y., Yi, S., Li, X., & Li, J. (2024). Diacylglycerol emulsion with different droplet size improves the gelation properties of *Nemipterus virgatus* myofibrillar protein. *Food Chemistry*, 434, p.137322. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137322>.
31. Sinthusamran, S., Benjakul, S., Swedlund, P. J., & Hemar, Y. (2017). Physical and rheological properties of fish gelatin gel as influenced by κ -carrageenan. *Food Bioscience*, 20, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.09.001>.
32. Sinthusamran, S., Benjakul, S., & Hemar, Y. (2018). Physical and sensory properties of gelatin from seabass (*Lates calcarifer*) as affected by agar and κ -carrageenan. *Journal of Texture Studies*, 49(1), 47-55. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12280>.
33. Surh, J., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2006). Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by fish gelatin. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 596-606. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.06.002>.
34. Xie, H., Sha, X. M., Yuan, P., Li, J. L., Hu, Z. Z., & Tu, Z. C. (2024). Rheology, physicochemical properties, and microstructure of fish gelatin emulsion gel modified by γ -polyglutamic acid. *Frontiers in Nutrition*, 11, p.1343394. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1343394>.
35. Zhao, H., Kang, X., Zhou, X., Tong, L., Yu, W., Zhang, J., Yang, W., Lou, Q., & Huang, T. (2021). Glycosylation fish gelatin with gum Arabic: Functional and structural properties. *Lwt*, 139, p.110634. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110634>.
36. Shi, L., Wang, X., Chang, T., Wang, C., Yang, H., & Cui, M. (2014). Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels. *LWT-Food Science and Technology*, 57(2), 586-593. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.003>.
37. Zhang, E., Zhao, Y., Ren, Z., Shi, L., & Weng, W. (2023). Comparative effects of W/O and O/W emulsions on the physicochemical properties of silver carp surimi gels. *Food Chemistry: X*, 20, p.100988. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100988>.
38. Sow, L. C., Chong, J. M. N., Liao, Q. X., & Yang, H. (2018). Effects of

- κ -carrageenan on the structure and rheological properties of fish gelatin. *Journal of Food Engineering*, 239, 92-103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.035>.
39. Tavernier, I., Patel, A. R., Van der Meeren, P., & Dewettinck, K. (2017). Emulsion-templated liquid oil structuring with soy protein and soy protein: κ -carrageenan complexes. *Food hydrocolloids*, 65, 107-120. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.008>.
40. Wang, Q., Rao, Z., Chen, Y., Lei, X., Zhao, J., Li, F., Lei, L., Zeng, K., & Ming, J. (2022). Characterization of responsive zein-based oleogels with tunable properties fabricated from emulsion-templated approach. *Food Hydrocolloids*, 133, p.107972. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107972>.
41. Zou, Y., Xi, Y., Pan, J., Ahmad, M. I., Zhang, A., Zhang, C., Li, Y., & Zhang, H. (2022). Soy oil and SPI based-oleogels structuring with glycerol monolaurate by emulsion-templated approach: Preparation, characterization and potential application. *Food Chemistry*, 397, p.133767. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133767>.
42. Marchetti, L., Muzzio, B., Cerrutti, P., Andres, S. C., & Califano, A. N. (2017). Bacterial nanocellulose as novel additive in low-lipid low-sodium meat sausages. Effect on quality and stability. *Food Structure*, 14, 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.06.004>.
43. Shi, T., Wijaya, G. Y. A., Yuan, L., Sun, Q., Bai, F., Wang, J., & Gao, R. (2020). Gel properties of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) surimi improved by lecithin at reduced and regular-salt concentrations. *Rsc Advances*, 10(51), 30896-30906. <https://doi.org/10.1039/D0RA04487C>.
44. Monto, A. R., Yuan, L., Xiong, Z., Shi, T., Li, M., Wang, X., Liu, L., Jin, W., Li, J., & Gao, R. (2024). Effect of α -tocopherol, soybean oil, and glyceryl monostearate oleogel on gel properties and the in-vitro digestion of low-salt silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi. *Food Chemistry*, 460, p.140588. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140588>.
45. Petcharat, T., & Benjakul, S. (2018). Effect of gellan incorporation on gel properties of bigeye snapper surimi. *Food Hydrocolloids*, 77, 746-753. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.016>.
46. Yuan, L., Yu, J., Mu, J., Shi, T., Sun, Q., Jin, W., & Gao, R. (2019). Effects of deacetylation of konjac glucomannan on the physico-chemical properties of surimi gels from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *RSC advances*, 9(34), 19828-19836. <https://doi.org/10.1039/C9RA03517F>.
47. Lu, S., Pei, Z., Lu, Q., Li, Q., He, Y., Feng, A., Liu, Z., Xue, C., Liu, J., Lin, X., & Li, Y. (2024). Effect of a collagen peptide–fish oil high internal phase emulsion on the printability and gelation of 3D-printed surimi gel inks. *Food Chemistry*, 446, p.138810. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138810>.
48. Pietrowski, B. N., Tahergorabi, R., Matak, K. E., Tou, J. C., & Jaczynski, J. (2011). Chemical properties of surimi seafood nutrified with ω -3 rich oils. *Food Chemistry*, 129(3), 912-919. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.044>.
49. Debusca, A., Tahergorabi, R., Beamer, S.K., Partington, S., & Jaczynski, J. (2013). Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute. *Food Chemistry*, 141(1), 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.111>.
50. Zhou, X., Jiang, S., Zhao, D., Zhang, J., Gu, S., Pan, Z., & Ding, Y. (2017). Changes in physicochemical properties and protein structure of surimi enhanced with camellia tea oil. *Lwt*, 84, 562-571. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.026>.
51. Wang, M., Chen, C., Sun, G., Wang, W., & Fang, H. (2010). Effects of curdlan on

- the color, syneresis, cooking qualities, and textural properties of potato starch noodles. *Starch-Stärke*, 62(8), 429-434. <https://doi.org/10.1002/star.201000007>.
52. Fang, Q., Shi, L., Ren, Z., Hao, G., Chen, J., & Weng, W. (2021). Effects of emulsified lard and TGase on gel properties of threadfin bream (*Nemipterus virgatus*) surimi. *Lwt*, 146, p.111513. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111513>.
53. Zhang, E., Zhao, Y., Ren, Z., Shi, L., & Weng, W. (2023). Comparative effects of W/O and O/W emulsions on the physicochemical properties of silver carp surimi gels. *Food Chemistry: X*, 20, p.100988. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100988>.

