

The Effect of Replacing Shortening with Beeswax and Sunflower Oil Oleogel on the Physicochemical, Textural, and Sensory Properties of Oily Cake

Akram Hoseini nasab¹, Azin Nasrollah zade^{2*}

¹ MSc Graduate of the Department of Food Science and Technology, La.C., Islamic azad university, Lahijan, Iran

² (Corresponding Author) Department of food science and technology, La.C., Islamic azad university, Lahijan, Iran
Email: azinnasr@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 2025-12-21

Revised: 2026-03-09

Accepted: 2026-05-08

ABSTRACT

Background and Objective: High-fat diets are among the major risk factors for chronic diseases such as type 2 diabetes, metabolic disorders, and cardiovascular diseases. The presence of trans and saturated fatty acids in ingredients like shortening can disrupt metabolic balance and lead to serious health problems. Therefore, developing healthier and more natural fat substitutes in the food industry, particularly in widely consumed products such as cakes, is of great importance. The aim of this study was to investigate the effect of replacing shortening with oleogels prepared from beeswax and sunflower oil on the physicochemical, textural, and sensory properties of oily cake.

Materials and Methods: Oleogels were prepared with three levels of beeswax (0.5%, 3%, and 5%) and incorporated into cake formulations at substitution levels of 10%, 30%, and 50% in place of shortening. A control sample was prepared using 100% shortening. Physicochemical properties including moisture, acidity, and peroxide value, as well as texture profile analysis (hardness, chewiness, and elasticity), colorimetric evaluation, and sensory assessment (color, odor, taste, texture, and overall acceptability) were examined.

Results: Increasing the amount of structuring agent and the substitution level of oleogel significantly increased cake moisture and decreased acidity ($P \leq 0.05$). The highest moisture content (23.67%) and the lowest acidity (0.04%) were observed in the sample containing 5% beeswax with 50% substitution. Peroxide value was also affected by oleogel level and storage time ($P \leq 0.05$); the increase in peroxide value was greater in the control sample (from 0.017 to 0.066 meqO₂ /kg), whereas in treatments containing 50% oleogel it reached a maximum of 0.29 on day 14. Texture profile analysis showed that with increasing oleogel percentage, hardness and chewiness increased while elasticity decreased, with these changes being more pronounced in the second week of storage. Colorimetric evaluation indicated that the highest lightness and color changes were observed in the treatment containing 5% beeswax with 50% substitution (11.77 and 21.17, respectively). Sensory evaluation revealed no significant differences between

Keywords:

Cake

Fat substitute

Shortening

Oleogel

oleogel-containing samples and the control in terms of color, odor, taste, texture, and overall acceptability, and consumers found the oleogel substitution acceptable.

Conclusion: The use of oleogels containing beeswax and sunflower oil improved the physicochemical properties of cake and enhanced oxidative stability and textural quality. Based on the results of texture, color, and sensory analyses, this formulation can be considered a suitable alternative to shortening in cake production up to the level of 3% beeswax and 50% fat substitution. The findings of this study highlight the potential of natural oleogels to promote the development of healthier, low-fat confectionery products and pave the way for future research on their application in improving nutritional value and reducing health risks associated with the consumption of unhealthy fats.

Cite this article: Hoseini nasab, A., Nasrollah zade, A. 2026. The Effect of Replacing Shortening with Beeswax and Sunflower Oil Oleogel on the Physicochemical, Textural, and Sensory Properties of Oily Cake. *Food Processing and Preservation Journal*, 18(2), 71-93.



© The Author(s)



<https://doi.org/10.22069/fppj.2026.24418.1918>

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثر جایگزینی شورتینگ با اولئوژل موم زنبورعسل و روغن آفتابگردان بر خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی کیک روغنی

سیده اکرم حسینی نسب^۱، آذین نصراله زاده^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

^۲ (نویسنده مسئول) گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران، رایانامه: azinnasr@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله:

مقاله کامل علمی-پژوهشی

سابقه و هدف: رژیم‌های غذایی پرچرب از مهم‌ترین عوامل خطر در بروز بیماری‌های مزمن نظیر دیابت نوع دو، اختلالات متابولیک و بیماری‌های قلبی عروقی محسوب می‌شوند. وجود اسیدهای چرب ترانس و اشباع در ترکیباتی مانند شورتینگ می‌تواند تعادل متابولیک بدن را مختل کرده و زمینه‌ساز مشکلات جدی در سلامت عمومی گردد. ازاین‌رو، توسعه جایگزین‌های چربی سالم‌تر و طبیعی‌تر در صنایع غذایی، به‌ویژه در محصولات پرمصرفی مانند کیک، اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف این پژوهش بررسی تأثیر جایگزینی شورتینگ با اولئوژل‌های تهیه‌شده از موم زنبورعسل و روغن آفتابگردان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی کیک روغنی بود.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، اولئوژل‌ها با سه سطح مختلف موم زنبورعسل (۰/۵٪، ۳٪ و ۵٪) تهیه شدند و در مقادیر ۱۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ به‌جای شورتینگ در فرمولاسیون کیک استفاده گردیدند. نمونه شاهد با استفاده کامل از شورتینگ تهیه شد. سپس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل رطوبت، اسیدیته و پراکسید، آزمون‌های بافت‌سنجی (سختی، قابلیت جویدن و خاصیت ارتجاعی)، رنگ‌سنجی و ارزیابی حسی (رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی) مورد بررسی قرار گرفت.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۸

یافته‌ها: نتایج نشان داد افزایش میزان ژلاتور و سطح جایگزینی اولئوژل موجب افزایش معنی‌دار رطوبت و کاهش اسیدیته کیک شد ($P \leq 0/05$). بیشترین رطوبت (۲۳/۶۷٪) و کمترین اسیدیته (۰/۰۴٪) در نمونه حاوی ۵٪ موم زنبورعسل با ۵۰٪ جایگزینی مشاهده گردید. مقدار پراکسید نیز تحت تأثیر سطح اولئوژل و زمان نگهداری قرار گرفت ($P \leq 0/05$); به‌طوری‌که تغییرات افزایشی پراکسید در نمونه شاهد بیشتر از تیمارهای حاوی اولئوژل بود) از ۰/۱۷ به ۰/۶۶ ($\text{meqO}_2\text{kg}^{-1}$)، درحالی‌که در تیمارهای حاوی ۵۰٪ اولئوژل حداکثر به ۰/۲۹ در روز چهاردهم رسید. نتایج بافت‌سنجی نشان داد با افزایش درصد اولئوژل، سختی بافت و قابلیت جویدن افزایش و خاصیت ارتجاعی کاهش یافت؛ این تغییرات به‌ویژه در هفته دوم نگهداری بارزتر بود. ارزیابی رنگ‌سنجی نیز نشان داد بیشترین روشنایی و تغییرات رنگی در تیمار حاوی ۵٪ موم و جایگزینی ۵۰٪ مشاهده شد (به‌ترتیب ۱۱/۷۷ و ۲۱/۱۷). ارزیابی حسی نیز بیانگر آن بود که تفاوت معنی‌داری میان نمونه‌های اولئوژلی و شاهد در پذیرش کلی وجود نداشت و

واژه‌های کلیدی:

اولئوژل

کیک

جایگزین چربی

شورتینگ

مصرف‌کنندگان جایگزینی اولئوژل را قابل قبول ارزیابی کردند.

نتیجه‌گیری: استفاده از اولئوژل‌های حاوی موم زنبورعسل و روغن آفتابگردان موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کیک گردید و توانست پایداری اکسیداتیو و کیفیت بافتی محصول را ارتقا دهد. بر اساس نتایج آزمون‌های مختلف، این ترکیب می‌تواند تا سطح ۳٪ موم و جایگزینی ۵۰٪ چربی، به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی شورتنینگ در فرمولاسیون کیک مطرح شود. یافته‌های این پژوهش نویدبخش توسعه فرآورده‌های کم‌چرب و سالم‌تر در صنعت قنادی بوده و می‌تواند مسیر تحقیقات آینده را در زمینه استفاده از اولئوژل‌های طبیعی برای ارتقای ارزش تغذیه‌ای و کاهش مخاطرات مرتبط با مصرف چربی‌های ناسالم هموار سازد.

استناد: حسینی نسب، سیده‌اکرم؛ نصراله‌زاده، آذین. (۱۴۰۵). اثر جایگزینی شورتنینگ با اولئوژل موم زنبورعسل و روغن آفتابگردان بر خواص فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی کیک روغنی. *فراوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۸(۲)، ۹۳-۷۱.



<https://doi.org/10.22069/fppj.2026.24418.1918>

© نویسندگان



ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

شورتینینگ ها نوعی چربی جامد هستند که به دلیل میزان بالای اسیدهای چرب اشباع و در برخی وارد وجود اسیدهای چرب ترانس، نگرانی های قابل توجهی از نظر سلامت تغذیه ای ایجاد می کنند (۲) و (۱). از طرفی وجود تری گلیسیریدهای با نقطه ذوب بالا در ترکیب شورتینینگ موجب ایجاد شبکه های کریستالی، بهبود بافت و حفظ ساختار جامد، تردی و حفظ رطوبت در فراورده های قنادی و نانوائی است. با این حال، مصرف گسترده چربی های جامد و هیدروژنه در رژیم غذایی مدرن با افزایش بروز بیماری های متابولیکی، چاقی، فشارخون بالا و اختلالات قلبی-عروقی ارتباط مستقیم دارد. از این رو، یافتن جایگزین هایی با عملکرد مشابه اما سالم تر یک ضرورت به شمار می رود (۳ و ۴).

در پاسخ به این نیاز، اولئوژل ها (Oleogels) به عنوان نسل جدیدی از ساختاردهنده های چربی مورد توجه قرار گرفته اند. اولئوژل ها^۱ سیستم های نیمه جامدی هستند که در آن ها فاز مایع روغنی توسط یک شبکه سه بعدی از مواد ساختاردهنده (اولئوژلاتور) تثبیت می شود و ویژگی های رئولوژیکی مشابه چربی های جامد ایجاد می گردد (۵). این ساختار، ضمن حفظ حس دهانی مطلوب، میزان اسیدهای چرب اشباع و ترانس را کاهش داده و جایگزینی پایدار و سالم برای شورتینینگ و سایر چربی های جامد فراهم می آورد. اولئوژلاتورها بر اساس وزن مولکولی به دو گروه اولئوژلاتورها با وزن مولکولی پایین (مانند اسیدهای چرب، استرهای آن ها و موم ها) و وزن مولکولی بالا (مانند پروتئین ها و پلی ساکاریدها) تقسیم می شوند. اولئوژلاتورهای با وزن مولکولی پایین عمدتاً شامل اسیدهای چرب، استرهای اسیدهای چرب، الکل های چرب، موم ها مانند موم زنبور عسل

(Bee wax)، موم کارنوبا (Carnoba wax)، موم کانددیلا (Candelilla wax) و برخی مونسو و دی گلسیریدها هستند. این ترکیبات به دلیل اندازه کوچک مولکولی، از طریق تشکیل ساختارهای کریستالی، الیاف منظم یا تجمعات فیزیکی، یک شبکه سه بعدی پایدار ایجاد کرده و روغن را درون خود محبوس می کنند. ویژگی های اصلی این گروه شامل نقطه ذوب مشخص، توانایی بالای ایجاد ساختار در فاز کاملاً روغنی، پایداری حرارتی مناسب و عدم نیاز به فاز آبی است. به همین دلیل، این گروه کاربرد گسترده ای در فرمولاسیون محصولات نانوائی، شکلات، اسپردها (Spread)، مارگارین، جایگزین های شورتینینگ و تولید غذاهای فاقد چربی ترانس دارند. موم ها به طور ویژه علاوه بر ایجاد شبکه کریستالی، موجب تقویت پایداری اکسیداتیو روغن نیز می شوند. در مقابل، اولئوژلاتورهای با وزن مولکولی بالا شامل پروتئین ها (مانند پروتئین آب پنیر، ژلاتین، پروتئین سویا) و پلی ساکاریدها (نظیر صمغ عربی، آلژینات، کاراگینان و نشاسته) هستند. این ترکیبات به دلیل اندازه بزرگ مولکولی، معمولاً در فاز روغنی نامحلول بوده و تشکیل ژل در آن ها از طریق شبکه سازی پلیمری، پیوندهای هیدروژنی، تعاملات بین مولکولی انجام می شود. ویژگی های اصلی این گروه شامل ایجاد شبکه های بافتی الاستیک، حساسیت بیشتر به شرایط رطوبت و حرارت و نیاز به فاز آبی یا ساختارهای میان فازی برای ژل شدن است. کاربرد این گروه بیشتر در سیستم های امولسیون، فرآورده های گوشتی کم چرب، اسپردهای امولسیونی، محصولات بافت دار و فرمولاسیون های عملکردی است که هدف ایجاد خواص رئولوژیکی یا بافتی خاص می باشد (۶). مکانیزم ژل سازی در اولئوژل ها بسته به نوع ساختاردهنده متفاوت است؛ کریستالیزاسیون چربی های غیراشباع، تشکیل شبکه های فیبریل خود

^۱. Oleogel

فرمولاسیون محصولات نانوائی، لبنی و گوشتی باهدف کاهش اسیدهای چرب اشباع و بهبود پروفایل تغذیه‌ای، به‌سرعت در حال گسترش است. در این پژوهش به مطالعه جایگزینی شورتینگ‌های غنی از چربی‌های ترانس با اولئوژل‌ها، باهدف کاهش مصرف چربی‌های ناسالم و کالری اضافی، ارتقای سلامت مصرف‌کنندگان، حفظ کیفیت حسی مطلوب محصول، پاسخ به تقاضای بازار برای محصولات رژیمی و توسعه جایگزین‌های پایدار گیاهی پرداخته می‌شود که می‌تواند نقش مهمی در نوآوری و آینده صنایع غذایی ایفا کند.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: آرد گندم نول سه صفر (گلها)، شکر سفید (پرنیان)، شورتینگ (نازگل)، تخم‌مرغ تازه (تلاونگ)، شیر پاستوریزه کم چربی (میهن)، بکینگ پودر (آذرنوش شکوفه)، نمک تصفیه شده یددار تبلور مجدد (مجتمع صنعتی و غذایی تصفیه نمک ایران)، پودر وانیلین (شانگهای فاکسین فاین)، روغن آفتابگردان (طبیعت)، موم زنبورعسل از خرده‌فروشی‌های محلی لاهیجان خریداری شد.

تهیه اولئوژل: ابتدا مقدار مشخصی از موم زنبورعسل (در سه سطح ۰/۵٪، ۳٪ و ۵٪ وزنی نسبت به کل روغن) به روغن آفتابگردان اضافه شد. سپس مخلوط در دمای ۷۵ تا ۸۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۰ دقیقه روی هیتر برقی حرارت داده شد و همزمان همزده شد تا موم کاملاً ذوب گردد. پس از یکنواخت شدن محلول، در دمای محیط قرار گرفت تا خنک شود و ژل تشکیل شود و سپس به مدت ۲۴ ساعت در یخچال دمای ۴-۵ درجه سانتیگراد قرارداده شد (۱۲).

مونتاژ، تشکیل میسل‌های قابل تعویض و شبکه‌های پلیمری با اتصالات عرضی ازجمله مسیرهای این مکانیزم هستند. این فرایندها در مقیاس نانو و میکرو موجب شکل‌گیری ساختارهای سه‌بعدی می‌شوند که روغن را به دام انداخته و ویژگی‌های بافتی و حرارتی خاصی به سیستم می‌بخشند (۲). ترکیب اصلی اولئوژل معمولاً شامل درصد بالایی از روغن مایع و مقدار کمی ژلاتور است و انتخاب نوع روغن نقش کلیدی در پایداری و عملکرد ژل دارد. روغن‌های گیاهی مانند روغن آفتابگردان با اولئیک بالا، سویا و زیتون به دلیل در دسترس بودن و خواص تغذیه‌ای مطلوب، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. با افزایش سطح اسیدهای چرب اشباع در روغن، غلظت لازم اولئوژلاتور برای ایجاد ساختار پایدار کاهش می‌یابد (۷). در میان انواع اولئوژلاتورها، **موم‌های طبیعی** ازجمله موثرترین گزینه‌ها هستند زیرا می‌توانند در غلظت‌های پایین‌تر از ۱٪ نیز فاز روغنی را ساختاردهی کنند و در نتیجه اقتصادی‌تر و کارآمدتر باشند (۸). البته موم‌ها به دلیل تفاوت در درجه غیراشباعیت، طول زنجیره آلکیل و حضور اسیدها و الکل‌های چرب، رفتار ژل‌سازی متفاوتی نشان می‌دهند و همچنین افزایش غلظت موم می‌تواند موجب افزایش مدول دینامیکی و قدرت ژل می‌شود (۹). مطالعات اخیر نشان می‌دهد اولئوژل‌ها نه‌تنها از نظر ساختاری می‌توانند جایگزین چربی‌های جامد شوند بلکه به‌عنوان حامل‌های مؤثر ترکیبات زیست‌فعال مانند آنتی‌اکسیدان‌ها و ویتامین‌ها نیز عمل می‌کنند. این ویژگی موجب بهبود پایداری اکسیداتیو، خواص رئولوژیکی، عملکرد تغذیه‌ای و حتی خصوصیات حسی محصولات غذایی می‌گردد (۱۰) و (۱۱). در صنایع غذایی، استفاده از اولئوژل‌ها در

جدول ۱- معرفی تیمارهای مورد بررسی در پژوهش

Table 1. Description of treatments investigated in the study

درصد جایگزینی اولئوژل به جای شورتینینگ در کیک	درصد موم زنبورعسل در اولئوژل	کد تیمار
Oleogel replacement (%)	Beeswax content in oleogel (%)	Treatment code
10	0.5	T1
30	0.5	T2
50	0.5	T3
10	3	T4
30	3	T5
50	3	T6
10	5	T7
30	5	T8
50	5	T9
0	-	شاهد (control)

کیک ها به مدت ۱ ساعت در دمای محیط (۲۵±۲) درجه سانتی گراد) خنک شده و سپس از قالب خارج و برای انجام آزمون های فیزیکی و شیمیایی و حسی استفاده شدند (۱۳).

اندازه گیری رطوبت: برای اندازه گیری رطوبت مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۷۰۵-۱ (۲۰۲۵) یک گرم از هر نمونه با ظرفی با وزن مشخص منتقل شد و به مدت ۹۰ دقیقه در آن با دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس ظرف و نمونه در دسیکاتور خنک و وزن شد. در نهایت میزان رطوبت طبق معادله (۱) زیر محاسبه گردید. (۱۴).

معادله (۱)

$$\left(\frac{\text{وزن ظرف و نمونه بعد از خشک کردن} - \text{وزن ظرف و نمونه قبل از خشک کردن}}{\text{وزن نمونه}} \right) \times 100 = \text{درصد رطوبت کیک}$$

اندازه گیری اسیدیته: شاخص اسیدیته برحسب اسید اولئیک مطابق با روش استاندارد ملی ایران (استاندارد ملی ایران، شماره ۱۵۸۱۳، ۱۳۹۷) اندازه گیری و گزارش شد

اندازه گیری پراکسید: شاخص پراکسید مطابق استاندارد ملی ایران (شماره ۴۱۷۹) اندازه گیری شد بطوری که ۵ گرم از نمونه روغن استخراج شده را در ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری توزین نموده و ۳۰

تهیه کیک های حاوی اولئوژل: برای تهیه کیک های روغنی، از یک فرمولاسیون پایه دستورالعمل استاندارد تهیه کیک روغنی بود. شامل آرد گندم (۱۲۵ گرم)، شیر (۱۲۰ میلی لیتر)، شکر (۶۰ گرم)، شورتینینگ (۵۲/۵ گرم)، تخم مرغ کامل (۴۵ گرم)، بکینگ پودر (۹ گرم)، نمک (۱/۵ گرم)، وانیل (۰/۵ گرم) استفاده شد. در تیمارهای آزمایشی، اولئوژل های تهیه شده با موم زنبورعسل و روغن آفتابگردان، به عنوان جایگزین درصدی از شورتینینگ استفاده شدند. ابتدا تمام مواد پودری با یکدیگر مخلوط شدند. تخم مرغ از قبل هم زده شده به آن افزوده می شود و در نهایت شورتینینگ به مخلوط فوق افزوده می شود. به منظور تهیه کیک با چربی کاهش یافته، اولئوژل ها بر اساس جدول (۱) در فرمولاسیون کیک ها، جایگزین درصدی از شورتینینگ شدند. سپس خمیرهای تهیه شده در قالب فلزی مستطیل شکل دارای ۱۲ حفره (در آرایش ۴×۳) توزیع شد. هر حفره با کاغذ مخصوص کیک (لایتر کاغذی) پوشانده شد. حدود ۳۰±۱ گرم از خمیر با ترازوی دیجیتال دقت ۰/۱ گرم برند Unique ساخت کشور چین توزین و در هر حفره ریخته شد تا وزن نمونه ها یکنواخت باشد. پس از پخت به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد در فر الکتریکی با گردش هوا (Altone مدل v301s) ساخت کشور ایران،

استانداردهای بین‌المللی نظیر ISO 11664-4: 2019، CIE 15: 2018 و ASTM E308-18 توصیف شده است. با این دستگاه سه مختصه اصلی رنگ شامل روشنایی (L^*)، محور زرد-آبی (b^*) و محور قرمز-سبز (a^*) محاسبه و از ترکیب این مختصات، شاخص‌های ثانویه نظیر شدت رنگ یا C (*Chroma) و تغییرات رنگ ΔE بیان می‌گردد (۱۸).

$$\Delta E = \sqrt{(L1^* - L2^*)^2 + (a1^* - a2^*)^2 + (b1^* - b2^*)^2}$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

آزمون ارزیابی حسی: به منظور ارزیابی حسی نمونه‌های کیک از مقیاس هدونیک ۵ مرتبه‌ای توسط ۶ نفر از داوران نیمه آموزش دیده انجام شد. معیارهای مورد بررسی شامل رنگ، بو، طعم و مزه، بافت و پذیرش کلی بود. نتایج امتیازات حسی برای تحلیل آماری ثبت شدند (۱۹).

تجزیه و تحلیل آماری

مطالعه حاضر به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۱۰ تیمار (شامل ۹ تیمار ترکیبی به همراه یک نمونه شاهد طبق جدول ۱) و سه تکرار انجام شد. برای مقایسه گروه‌ها از نظر تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بافتی آنالیز واریانس (ANOVA) انجام گرفت و در صورت معنادار بودن تیمارها، میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P \leq 0.05$) مورد مقایسه قرار گرفتند. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۶ و رسم نمودارها با استفاده از Microsoft office LTSC 2021 و توسط برنامه Excel انجام شد.

نتایج و بحث

میزان رطوبت کیک‌های تهیه شده با اولئوژل: براساس نتایج تحلیل واریانس داده‌ها مشخص شد که تغییرات محتوی رطوبت به طور معنی‌داری ($P \leq 0.05$)

میلی لیتر حلال پراکسید (۳ حجم استیک اسید + ۲ حجم کلروفرم) و ۰/۵ میلی لیتر یدید پتاسیم اشباع به ظرف با اضافه شد. مخلوط به مدت ۱ دقیقه در جای تاریک قرار داده و گاهی هم زده شد. سپس ۳۰ میلی لیتر آب مقطر و چند قطره معرف چسب نشاسته گردید. نمونه آماده شده را با سدیم تیو سولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تا از بین رفتن رنگ آبی تیتراژ شد. آزمایش شاهد (بدون نمونه) نیز انجام گردید (۱۶).

معادله (۳)

$$\text{عدد پراکسید} = \frac{(v2 - v1 \times N \times 1000)}{m}$$

$v2$ = حجم تیوسولفات سدیم خوانده شده

$v1$ = حجم تیوسولفات سدیم حاصل از تیتراژ شاهد

N = نرمالیت تیو سولفات سدیم

M = حجم روغن استفاده شده

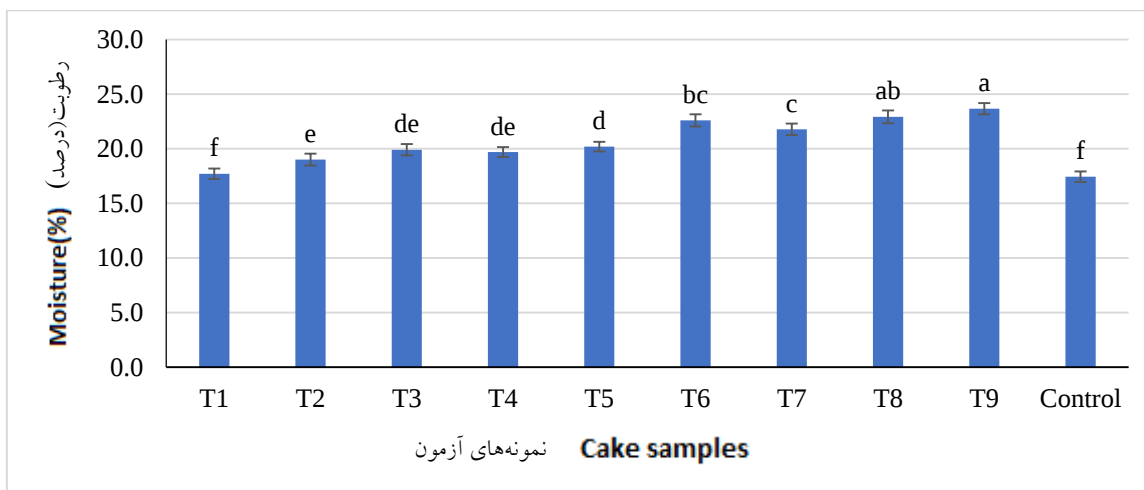
آزمون بافت سنجی (Texture Profile Analysis):

تحلیل بافت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه آنالیز بافت Textur analyzer brookfield CT3 مجهز به پروب استوانه‌ای طبق روش AACC 74-09 انجام شد. برای این کار قطعه مکعبی به ابعاد ۲ سانتیمتر از مغز کیک جدا شد و سفتی نمونه‌ها با پروب استوانه‌ای با قطر ۳۶ میلی متر، با سرعت یک میلی متر بر ثانیه و ۵۰ درصد کرنش اندازه‌گیری شد. آزمون شامل دو سیکل فشرده‌سازی بود و ویژگی‌های سختی (Hardness)، قابلیت ارتجاعی (Springiness) و خاصیت جویدن (Chewiness) ثبت گردید. این آزمون در سه فاز به منظور بررسی اثر اولئوژل بر ویژگی‌های بافتی مورد استفاده قرار گرفت (۱۷، ۱۸).

اندازه‌گیری رنگ: پارامترهای رنگی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج مدل NR60CP Precision Colorimeter، 3nh بر روی مغز کیک اندازه‌گیری شد. سیستم رنگ سنجی CIELAB توسط کمیسیون بین‌المللی روشنایی (CIE) معرفی شده و در

لطافت بافت محصول نهایی شده است. این یافته با نتایج گزارش شده توسط Basturk و Badem (۲۰۲۳) همسو است که بهبود ظرفیت نگهداشت آب در فراورده‌های نانوائی حاوی اولئوژل را ناشی از تشکیل ساختار شبکه‌ای سه بعدی دانستند. به نظر می‌رسد کریستال‌های موم زنبورعسل با ایجاد شبکه‌ای پایدار در فاز چربی، موجب به دام افتادن روغن و کاهش مهاجرت طی نگهداری می‌شوند (۲۲). همچنین Yilmaz و Ogutzu (۲۰۱۲) بیان کردند استفاده از اولئوژل‌های مبتنی بر موم می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های بافتی و حفظ رطوبت در محصولات نانوائی گردد. نتایج پژوهش حاضر نیز این موضوع را تأیید می‌کند اگرچه میزان تأثیرگذاری به درصد جایگزینی و نوع فرمولاسیون وابسته است. تفاوت‌های مشاهده شده میان مطالعات مختلف می‌تواند ناشی از اختلاف در نوع ژلاتین، غلظت موم، ترکیب فرمولاسیون و شرایط فرآوری باشد (۲۳).

وابسته به بکارگیری و یا عدم بکارگیری اولئوژل در فرمولاسیون کیک‌ها بود. به طوری که مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش درصد موم و میزان جایگزینی در کیک محتوای رطوبت تیمارها روند افزایشی داشته است (شکل ۱) و در نمونه حاوی ۵٪ موم با ۵۰٪ درصد جایگزینی اولئوژل (T9) بالاترین میزان رطوبت (۲۳/۶۷) و در نمونه‌های کنترل فاقد اولئوژل کمترین میزان رطوبت (۱۷/۴۴) مشاهده شد. مرطوب بودن یکی از شاخص‌های مطلوب در کیک می‌باشد؛ حفظ و نگهداری آب در کیک باعث نرمی بافت کیک و تعویق بیاتی آن می‌شود (۲۱). حفظ رطوبت نمونه‌های کیک تهیه شده با اولئوژل‌ها در طول مدت پخت می‌تواند به دلیل قابلیت اولئوژل‌ها در جذب و به دام انداختن مولکول‌های آب مرتبط باشد. ساختار شبکه‌ای اولئوژل‌ها به واسطه ویژگی‌های نگهداشتی آب در ماتریکس چربی از تبخیر سریع رطوبت در حین پخت جلوگیری کرده و در نتیجه باعث حفظ



شکل ۱- اثر درصدهای مختلف اولئوژل و سطوح جایگزینی بر میزان رطوبت در کیک

*تفاوت در حروف کوچک انگلیسی بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین تیمارهای اولئوژل است.

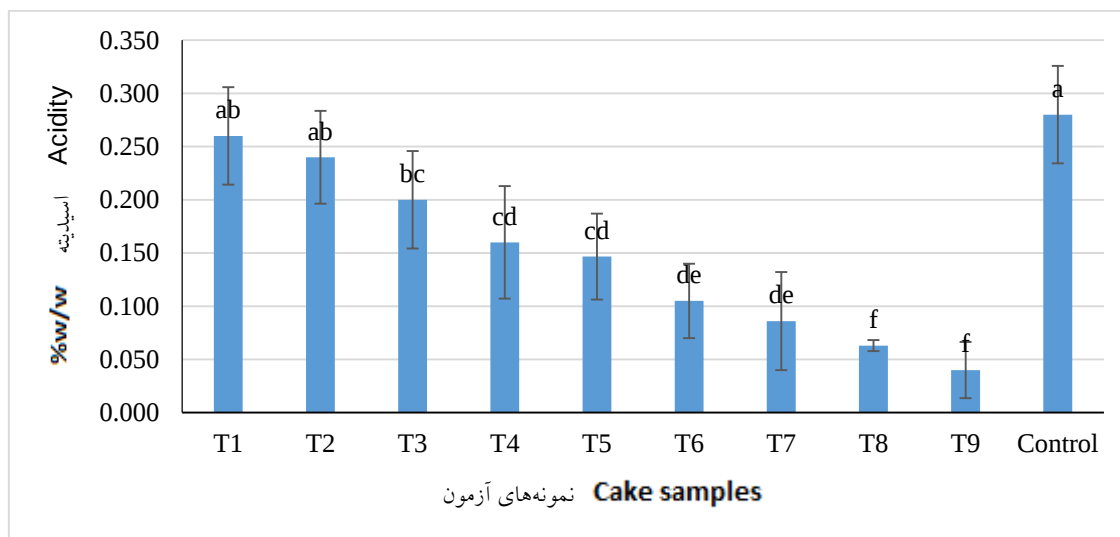
Figure 1. Effect of different oleogel concentrations and replacement levels on moisture content of cake
(dissimilar letters indicate significant differences between the samples on the same oleogel treatment)
($p < 0.05$)

تغییرات اسیدیته به طور معنی داری ($P \leq 0.05$) وابسته به بکارگیری و یا عدم بکارگیری اولئوژل در

میزان اسیدیته کیک‌های تهیه شده با اولئوژل :
براساس نتایج تحلیل واریانس داده‌ها مشخص شد که

فعال خود دسترسی داشته باشد اما درعین حال فرآیند هیدرولیز چربی را محدود می‌کند. همچنین شبکه بلوری سوزنی شکل اولئوژل که توسط تعاملات واندروالس میان زنجیره‌های هیدروکربنی بلند و گروه‌های استری قطبی شکل گرفته، می‌تواند با محدود کردن دسترسی لیپاز به چربی، سرعت هضم را کاهش داده و به‌طور کلی فرایند لیپولیز را کندتر کنند. بنابراین ساختار بلوری موم‌ها نه تنها به تثبیت اولئوژل کمک می‌کند بلکه می‌تواند بر روند هضم چربی نیز تأثیر گذاشته و دسترسی آنزیم لیپاز به چربی‌ها را محدود نماید (۲۴). این یافته با نتایج گزارش شده توسط Palla و همکاران (۲۰۲۱) همسو است که نشان می‌دهد پس از جایگزینی شورتینگ با اولئوژل مونواستر گلیسرین در کیک‌های کرمدار با محدودیت در تجزیه چربی، روند افزایشی اسیدیته مهار شده بنابراین اولئوژل‌های طبیعی می‌توانند در حفظ پایداری خواص فیزیکوشیمیایی کیک مؤثر بوده و جایگزین مناسبی برای چربی‌های سستی باشد (۲۵).

فرمولاسیون کیک بود. به‌طوری‌که مقایسه میانگین‌ها نشان داد افزایش درصد جایگزینی اولئوژل باعث کاهش تدریجی مقدار اسیدیته می‌شود و در بالاترین درصد جایگزینی کمترین مقدار اسیدیته در کیک نشان داده است بطوریکه کمترین مقدار اسیدیته مربوط به تیمار، T9 با میانگین ۰/۰۴٪ بوده است که به‌طور معنی داری پایین‌تر از نمونه شاهد (۰/۲۸٪) است. کاهش معنی‌دار اسیدیته در تیمارهای حاوی اولئوژل احتمالاً به دلیل تشکیل ساختار شبکه‌ای موم زنبورعسل و به دام افتادن فاز روغنی در ماتریکس سه‌بعدی آن باشد. این ساختار می‌تواند تحرک مولکولی لیپیدها و دسترسی اکسیژن را کاهش داده و در نتیجه سرعت اکسیداسیون و آزادسازی اسیدهای چرب آزاد را محدود نماید. این کاهش می‌تواند به محدود شدن تحرک لیپیدها و کاهش تماس آن‌ها با عوامل اکسیدکننده در ساختار اولئوژل نسبت داده شود. همچنین ساختار منظم و کریستالی موم زنبور بوده که به آنزیم لیپاز اجازه می‌دهد تا به جایگاه‌های



شکل ۲- اثر درصدهای مختلف اولئوژل و سطوح جایگزینی بر میزان اسیدیته در کیک

*تفاوت در حروف کوچک انگلیسی بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین تیمارهای اولئوژل است

Figure 2. Effect of different oleogel concentrations and replacement levels on cake acidity
(dissimilar letters indicate significant differences between the samples on the same oleogel treatment)
($p < 0.05$)

میزان پراکسید کیک‌های تهیه شده با اولئوژل: پایداری اکسیداتیو نمونه‌های کیک با اندازه‌گیری میزان عدد پراکسید آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج تجزیه واریانس عدد پراکسید در کلیه تیمارها اختلاف معنی داری دیده شد. بطوریکه با جایگزینی اولئوژل میزان پراکسید نسبت به نمونه شاهد کم‌تر بوده البته عدد پراکسید همه نمونه‌های کیک در طول مدت نگهداری روند افزایشی نشان داد که این روند در نمونه حاوی شورتینگ بیش از بقیه نمونه‌ها بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد کمترین میزان عدد پراکسید در پایان مدت نگهداری مربوط به نمونه تهیه شده با ۵٪ موم با جایگزینی ۵۰٪ (۲۴/۰) و بیشترین آن

مربوط به نمونه شاهد (۶۵/۰) گزارش شد. ($P \leq 0.05$) جدول ۲). پایداری اکسیداتیو بالای نمونه‌های کیک تهیه شده با اولئوژل را می‌توان به شبکه نیمه جامد سخت اولئوژل‌ها نسبت داد که باعث محافظت روغن به دام انداخته شده در برابر واکنش اکسیداسیون می‌گردد (۲۶). همچنین Badem و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعات خود این پایداری را به ساختار شبکه‌ای اولئوژل نسبت دادند که با ساختار منسجم خود منجر به محافظت از روغن مورد استفاده در فراورده، مهار نفوذ اکسیژن و در نتیجه کاهش سرعت واکنش اکسیداسیون می‌شود (۲۷).

جدول ۲- تاثیر جایگزینی اولئوژل بر ویژگی پراکسید کیک در طول دوره زمانی

Table 2. Effect of oleogel replacement on peroxide value of cake during the storage period (Treatment descriptions according to Table 1)

نمونه	روز	روز ۷	روز ۱۴
sample	Day0	Day7	Day14
T1	0.070 ± 0.02 ^{cd}	0.280 ± 0.04 ^{bb}	0.490 ± 0.01 ^{ab}
T2	0.070 ± 0.04 ^{cd}	0.240 ± 0.05 ^{bb}	0.450 ± 0.01 ^{ab}
T3	0.050 ± 0.01 ^{ce}	0.150 ± 0.01 ^{bc}	0.380 ± 0.01 ^{ac}
T4	0.050 ± 0.01 ^{ce}	0.180 ± 0.01 ^{bc}	0.370 ± 0.01 ^{ac}
T5	0.046 ± 0.03 ^{ce}	0.150 ± 0.01 ^{bc}	0.280 ± 0.01 ^{ad}
T6	0.023 ± 0.02 ^{ce}	0.100 ± 0.05 ^{bd}	0.280 ± 0.02 ^{ad}
T7	0.020 ± 0.01 ^{ce}	0.110 ± 0.04 ^{bd}	0.253 ± 0.01 ^{ad}
T8	0.020 ± 0.01 ^{ce}	0.080 ± 0.01 ^{bc}	0.250 ± 0.01 ^{ad}
T9	0.017 ± 0.01 ^{ce}	0.080 ± 0.01 ^{bc}	0.244 ± 0.01 ^{ad}
شاهد (control)	0.077 ± 0.01 ^{ce}	0.343 ± 0.04 ^{ba}	0.650 ± 0.06 ^{aA}

* تفاوت در حروف بزرگ و کوچک انگلیسی بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد به ترتیب بین تیمارهای اولئوژل و زمان نگهداری است.

The difference in uppercase and lowercase letters indicates significant differences, corresponding respectively to oleogel treatments and storage time ($p < 0.05$).

بررسی ویژگی‌های بافتی

طی دوره نگهداری، روند افزایشی سختی در تمامی تیمارها مشاهده گردید ($P \leq 0.05$). به‌طوری‌که میزان سختی نمونه‌های شاهد از ۴/۸ N در روز نخست به ۸/۸ N در روز چهاردهم رسید و در نمونه‌های حاوی ۵٪ موم زنبورعسل و جایگزینی ۵۰٪ از ۶/۷ N در روز نخست به ۹/۸ N در روز چهاردهم رسید. سفتی بافت به‌عنوان یک شاخص بیات شدن در محصولات نانوائی بوده و با پذیرش مصرف‌کننده

میزان سختی کیک‌های تهیه شده با اولئوژل: نتایج نشان داد که نوع و میزان جایگزینی چربی تأثیر معنی داری بر سختی کیک داشت ($P \leq 0.05$). به‌طوری‌که بیشتری مقدار سختی در تیمار حاوی ۵٪ موم زنبورعسل و با جایگزینی ۵۰٪ اولئوژل T9 مقدار N ۶/۷ و کمترین مقدار در نمونه شاهد صرفاً حاوی شورتینگ C مقدار N ۴/۰۲ مشاهده شد. همچنین

رابطه غیر مستقیمی دارد (۲۶). این شاخص با حجم مخصوص کیک مرتبط است به طوری که هرچه میزان حباب هوای وارد شده به کیک بیشتر شود منجر به افت حجم مخصوص و افزایش سفتی خواهد شد (۲۸). افزایش سختی در طی نگهداری را می توان به بازآرایی ساختار نشاسته (رتروگراداسیون)، کاهش تدریجی رطوبت و تشکیل مجدد پیوندهای بین مولکولی در ماتریکس کیک نسبت داد. این فرایندها موجب کاهش انعطاف پذیری شبکه گلو تن - نشاسته و در نتیجه افزایش مقاومت بافت در برابر تغییر شکل می شوند. این امر ناشی از مجموعه ای از عوامل ساختاری و رئولوژیکی به کمک ژلاتورهاست. حضور ژلاتورهای لیپیدی با ایجاد شبکه ای متراکم و نیمه کریستالی، ویسکوزیته خمیر را افزایش داده و از مهاجرت رطوبت نیز جلوگیری می کنند؛ در نتیجه بافت نهایی فشرده تر و مقاوم تر می شود. اولئوژل نیز احتمالاً از طریق ایجاد ساختار شبکه ای کریستالی و به دام انداختن فاز روغنی، بر توزیع رطوبت و تحرک مولکولی اجزای ماتریکس اثر گذاشته است. ساختار سه بعدی حاصل از کریستالیزاسیون موم زنبور عسل می تواند موجب تغییر در برهم کنش های بین چربی و اجزای پروتئینی - نشاسته ای شده و در سطح بالاتر جایگزینی، به افزایش سختی منجر شود (۲۶). از سوی دیگر افزایش سختی در طی مدت نگهداری می تواند ناشی از تسریع پدیده رتروگراداسیون آمیلو پکتین و بازآرایی مجدد ساختار داخلی کیک باشد. علاوه بر این، تعامل این ترکیبات با شبکه گلو تن قابلیت ارتجاعی آن را کاهش داده و فشار بیشتری بر حباب های هوا وارد می سازد، به گونه ای که رشد بیش از حد آن ها محدود شده و تخلخل محصول کاهش می یابد. تشکیل کریستال های پایدارتر در حضور موم و افزایش مقاومت حرارتی خمیر نیز به حفظ ساختار متراکم و سخت تر کمک می کند. بنابراین افزایش

سفتی کیک نه تنها به تراکم بیشتر و کاهش تخلخل مرتبط است بلکه به تغییر در رئولوژی خمیر، پایداری رطوبتی، تعامل با پروتئین ها و محدودیت در توسعه حباب های گاز نیز وابسته بوده و نقش مؤثر روغن های ساختاریافته در تقویت ویژگی های مکانیکی محصول را نشان می دهد (۲۹، ۳۰ و ۳۱). Patel و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان دادند مارگارین و شورتینگ در فرمولاسیون کیک دارای مقدار زیادی کریستال چربی می باشد که با ایجاد سد از تشکیل شبکه گلو تن جلوگیری می کند در حالی که در حضور اولئوژل ها شبکه گلو تنی با قوام و تراکم بیشتری تشکیل خواهد شد (۳۲). همچنین در کلیه تیمارها سختی نمونه ها در روزهای ۷ و ۱۴ نسبت به روز نخست افزایش یافته که بیانگر پیشرفت فرآیند کریستالیزاسیون و تثبیت شبکه اولئوژلاسیون در طی زمان است (۳۳). وجود چربی در مقایسه با اولئوژل ها به عنوان یک ماده مؤثر در فرمولاسیون کیک، بافت را برای مدت زمان بیشتری نرم نگه داشته و اثرات ناشی از سفتی بافت را کاهش می دهد (۲۶). در مطالعات عدیلی و همکاران (۲۰۲۱) افزودن اولئوژل ها به کیک باعث افزایش بیش از حد ویسکوزیته می شود و ویسکوزیته بالاتر، ظرفیت پذیرش گاز در حین هم زدن خمیر را کاهش می دهد. همچنین ظرفیت حفظ حباب های هوا با حذف نقش حفاظتی اسیدهای چرب اشباع به دلیل جایگزینی شورتینگ با اولئوژل ها کاهش می یابد. بنابراین این دو عامل باعث کاهش حجم مخصوص و افزایش سختی در نمونه های کیک حاوی اولئوژل می گردد (۳۴). به نظر می رسد ساختار چربی و نوع شبکه تشکیل شده نقش مهمی در شدت این تغییرات بافتی ایفا می کند.

قابلیت ارتجاع پذیری کیک های تهیه شده با اولئوژل: نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر نوع و میزان اولئوژل بر قابلیت ارتجاعی کیک نشان داد که جایگزینی شورتینگ با اولئوژل ها موجب بروز

با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (۳۶).
قابلیت جویدن کیک‌های تهیه شده با اولئوژل:
 قابلیت جویدن (chewiness) به عنوان شاخصی از انرژی مورد نیاز برای خرد کردن و آماده سازی نمونه جهت بلع، تابعی از برهمکنش سه پارامتر بافتی شامل سختی (Hardness)، پیوستگی (Cohesiveness) و قابلیت ارتجاعی یا فنری (Springiness) است و رابطه مستقیمی با هر سه دارد و از دیدگاه فیزیکی - مکانیکی قابل توجه است زیرا افزایش سختی منجر به افزایش نیروی لازم برای تغییر شکل ساختار بافت می شود. نتایج حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی نوع و مقدار اولئوژل بر قابلیت جویدن کیک نشان می دهد جایگزینی شورتینگ توسط اولئوژل باعث تفاوت معناداری در این ویژگی می شود ($P \leq 0/05$). بطوریکه در نمونه های کیک با افزایش درصد موم و میزان جایگزینی اولئوژل در فرمولاسیون کیک انرژی لازم جهت جویدن روند افزایشی داشت. با توجه به این که زمان و نیروی لازم برای جویدن محصولات غذایی رابطه مستقیمی با میزان سفتی آن ها دارد. با افزایش درصد ژلاتور و سطح جایگزینی اولئوژل، مقدار قابلیت جویدن به طور قابل توجهی افزایش یافت. کمترین مقدار قابلیت جویدن در نمونه شاهد تهیه شده با شورتینگ کامل (۰/N۹۷) مشاهده گردید، درحالی که بیشترین میزان آن در تیمار حاوی 5% موم زنبورعسل با سطح جایگزینی 50% (۲/N۸) ثبت شد. این افزایش را می توان به تشکیل شبکه ساختاری متراکم تر در ماتریس کیک نسبت داد که ناشی از برهم کنش میان فاز روغنی ژل شده و اجزای جامد فرمولاسیون است. این شبکه متراکم، مقاومت بیشتری در برابر تغییر شکل اعمال شده در حین جویدن ایجاد می کند و در نتیجه انرژی مورد نیاز برای زمان پارامترهای بافتی نشان می دهد که افزایش قابلیت جویدن تنها به افزایش سختی محدود نبوده

اختلاف معنی دار در این ویژگی شد ($P \leq 0/05$).
 براساس روند مشاهده شده (جدول ۳)، بیشترین قابلیت ارتجاعی مربوط به نمونه شاهد حاوی شورتینگ کامل (۱/۸) بود، درحالی که کمترین مقدار ارتجاع پذیری در تیمار حاوی ۵% موم زنبورعسل با سطح جایگزینی ۵% عدد ۱/۴۲ ثبت گردید. کاهش ارتجاع پذیری با افزایش درصد ژلاتور و میزان جایگزینی اولئوژل بارزتر شده و در دوره نگهداری نیز معنی دار بوده است ($P \leq 0/05$). بطوریکه در نمونه های شاهد از ۱/۸ در روز نخست به ۰/۹۸ در روز چهاردهم و در نمونه های حاوی موم ۵% با جایگزینی ۵۰% به ۱/۴۲ در روز نخست به ۰/۶۱ رسید مطالعات جابری و همکاران (۲۰۲۲) نشان داده اولئوژل ها به علت ساختار شبکه ای خود، رفتار متفاوتی نسبت به چربی های سنتی دارند، بطوریکه با افزایش درصد جایگزینی، این شبکه بیشتر در بافت کیک گسترش می یابد و از خاصیت ارتجاعی و انعطاف محصول کاسته می شود. از آنجایی که خاصیت ارتجاعی نشان دهنده توانایی کیک در بازیابی ارتفاع خود بین دو چرخه فشرده سازی پی در پی است بنابراین با تعداد حباب های هوا مرتبط می باشد. تخلخل و حباب های کمتر منجر به خواص ارتجاعی کمتر خواهد شد و از خواص اسفنجی کیک می کاهد بنابراین کیک نمی تواند بعد از فشرده شدن سریع تر به حالت اولیه اش برگردد. با افزایش درصد موم در اولئوژل، شبکه ژلی دارای تخلخل کمتری شده و بافت متراکم تری تشکیل می شود که حباب های ریز را تحت فشار قرار می دهد در نتیجه خاصیت ارتجاعی در بافت کاهش می یابد (۳۵). تحقیقات نشان داده اند که با گذشت زمان نیز، تغییرات فیزیکی در ساختار اولئوژل ها می تواند منجر به کاهش خاصیت ارتجاعی و افزایش سختی کیک شود. مطالعه Perta و همکاران (۲۰۲۳) که به تأثیر زمان نگهداری بر ویژگی های کیک های حاوی اولئوژل

بلکه افزایش چسبندگی درونی نیز نقش تعیین‌کننده ای داشته است. در نمونه‌های حاوی اولئوژل، پایداری ساختار داخلی و انسجام شبکه بافتی بیشتر بوده که این امر موجب حفظ یکپارچگی ساختار در طول فرایند جوییدن می‌شود. این روند نشان می‌دهد که ساختار محصول تحت تأثیر چربی‌های ساختارمند شده متراکم‌تر شده و مقاومت بیشتری در برابر جوییدن ایجاد می‌کند. برای پارامتر قابلیت جوییدن می‌تواند به تغییرات حاصل در میزان سفتی نمونه‌های کیک با افزودن اولئوژل مرتبط باشد که نشان می‌دهد این نمونه‌ها مقاومت بیشتری در برابر جوییدن دارند، همان‌طور که از مقادیر سختی انتظار می‌رود (۳۷). با توجه به این که موم زنبورعسل یک عامل ژل‌دهنده قوی است که با ایجاد پیوند هیدروفوبی و کریستال‌های جامد در داخل روغن آفتابگردان شبکه سه‌بعدی مستحکمی تشکیل می‌دهد. هرچقدر درصد موم بیشتر شود، این شبکه متراکم‌تر و سخت‌تر می‌گردد و فاز روغنی را بیشتر در خود نگه می‌دارد. از طرف دیگر افزایش موم موجب افزایش ویسکوزیته خمیر می‌گردد. خمیرهای با ویسکوزیته بالاتر کمتر هوا می‌گیرد و سلول‌های گازی متراکم‌تر تشکیل می‌دهند. همین مسئله منجر به بافت سفت‌تر و امکان جوییدن سخت‌تر می‌شود. دلیل دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد کاهش آزادسازی چربی در دهان در تیمارهای حاوی اولئوژل بیشتر است که موجب افزایش مدت‌زمان و انرژی لازم برای جوییدن در دهان می‌گردد. بنابراین، قابلیت جوییدن را می‌توان حاصل اثر هم‌افزای سختی و چسبندگی درونی دانست، نه نتیجه تغییر یک پارامتر منفرد (۳۸ و ۳۹). از سوی دیگر، اثر زمان نگهداری بر قابلیت جوییدن مستقل از اثر فرمولاسیون مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش زمان نگهداری، انرژی لازم برای جوییدن کیک‌ها در تمامی تیمارها روند افزایشی داشت ($P < 0.05$)

همچنین تغییرات قابلیت جوییدن در طول دوره نگهداری به‌ویژه در هفته دوم بارزتر شد. در نمونه‌ی شاهد حاوی صرفاً شورتینگ از $N \ 0.7$ در روز نخست به $N \ 0.97$ در روز چهاردهم و در نمونه‌ای حاوی 0.5% شورتینگ و درصد جایگزینی 0.5% از $N \ 0.8$ به $N \ 2$ افزایش داشته است که نشان‌دهنده افزایش مقاومت بافتی و تثبیت ساختار کیک با گذر زمان در تیمارهای حاوی اولئوژل است و به رابطه مستقیم پارامتر قابلیت جوییدن و میزان سفتی در طی دوره انبارمانی ارتباط دارد. همچنین این تغییرات می‌تواند به بازآرایی مجدد زنجیره‌های نشاسته، افزایش تبلور مجدد آمیلو پکتین و کاهش تحرک فاز آبی نسبت داده شود که موجب افزایش مقاومت بافت در برابر نیروهای مکانیکی شده و در نتیجه انرژی لازم برای جوییدن را افزایش می‌دهد (۲۸). در ارزیابی تأثیر زمان نگهداری بر قابلیت جوییدن Ozdemir و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای نشان دادند از دلایل این امر می‌توان به کاهش رطوبت نمونه‌ها در گذر زمان اشاره کرد. در طی نگهداری رطوبت کیک از بین می‌رود یا به فازهای دیگر مانند شبکه لیپیدی منتقل می‌شود در نتیجه بافت کیک متراکم‌تر شده و باید انرژی بیشتری برای جوییدن آن به کار برد. از دیگر عوامل اکسیداسیون چربی‌ها است که موجب تغییر در ریزساختار و از دست رفتن نقش نرم‌کنندگی چربی‌ها می‌گردد در نتیجه بافت شکننده‌تر شده و انرژی لازم برای جوییدن پذیری با گذشت زمان افزایش می‌یابد (۴۰). رتروگریشن نشاسته نیز در خواص جویدنی کیک تأثیرگذار است بطوریکه بعد از پخت، زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین دوباره آرایش پیدا می‌کنند و کریستال تشکیل می‌دهند در نتیجه بافت سفت و خشک‌تر شده و قابلیت جوییدن نیز کاهش و انرژی لازم برای جوییدن افزایش می‌یابد که این تغییرات در بافت در طول دوره نگهداری تشدید

خواهد یافت (۴۱ و ۴۲). مطالعه حاضر با نتایج کار (Malvano و همکاران، ۲۰۲۲) که به جایگزینی شورتینینگ با اولئوژل مبتنی بر روغن زیتون در کیک اسفنجی است مطابقت می‌کند. به گونه‌ای که با افزایش درصد جایگزین اولئوژل سختی و در نتیجه انرژی لازم جهت جویدن کیک افزایش یافته است (۴۳). همچنین در مورد زمان نگهداری نیز Ozdemir و همکاران (۲۰۲۴) طی مطالعه‌ای نشان دادند با گذشت زمان، خواص جویدنی در بافت کیک کاهش یافته و در نتیجه انرژی لازم برای جویدن بیشتر شده است (۴۳ و ۴۰). نکته قابل توجه آن است که اگرچه روند افزایش قابلیت جویدن در طول زمان نگهداری در همه نمونه‌ها مشابه بود اما شدت این افزایش در نمونه‌های حاوی اولئوژل بیشتر از نمونه شاهد مشاهده شد. این پدیده نشان می‌دهد که ساختار شبکه‌ای پایدارتر ایجاد شده توسط اولئوژل‌ها، اثر زمان نگهداری را تشدید می‌کند. نتایج این مطالعه با گزارش‌های پیشین مبنی بر نقش ساختار شبکه چربی در کنترل ویژگی‌های بافتی و رفتار مکانیکی محصولات پخت شده همخوانی دارد. در مجموع قابلیت جویدن کیک‌ها نتیجه برهمکنش پیچیده میان ساختار بافت، نوع سیستم چربی و تغییرات زمانی پس از پخت است و تحلیل جداگانه اثر فرمولاسیون و زمان نگهداری، درک دقیق‌تری از رفتار مکانیکی محصول فراهم می‌آورد. قابلیت جویدن یک پارامتر ترکیبی است که به سختی، خاصیت فنری و انسجام بافتی وابسته است (۴۴). در این پژوهش، افزایش همزمان و معنی‌دار سختی و قابلیت جویدن و کاهش قابلیت فنری شدن نشان‌دهنده بهبود کلی یکپارچگی و پایداری ساختاری کیک است. این رفتار می‌تواند بیانگر انسجام بهتر ماتریس کیک و پیوندهای داخلی قوی‌تر در ساختار محصول باشد که احتمالاً ناشی از توزیع منظم‌تر فاز چربی در حضور اولئوژل‌ها است

(۴۵).

خصوصیات رنگی کیک‌های تهیه شده با اولئوژل:
رنگ یک محصول تا حد زیادی درک مصرف‌کننده از کیفیت، طعم و قابلیت اطمینان آن را تعیین می‌کند میزان پارامتر رنگ به عوامل مختلفی از جمله برهمکنش‌ها و یا تغییرات اجزاء و تغییرات رنگ ایجاد شده طی فرایند بستگی دارد. رطوبت پوسته، وجود ترکیبات رنگی در فرمولاسیون و مدت زمان نگهداری از عوامل مؤثر بر رنگ پوسته هستند (۴۶). همچنین تغییرات ساختاری در ماتریکس کیک و نقش اولئوژل‌ها در ایجاد ترکیبات رنگی از طریق تمایل به مشارکت در واکنش‌هایی مانند میلارد، کاراملیزاسیون قندها و اکسیداسیون چربی در ایجاد رنگ نهایی کیک تأثیرگذار هستند (۱۲).

روشنی: نتایج حاصل از نتایج تجزیه واریانس اثر جایگزینی نوع و مقدار اولئوژل بر روشنی کیک نشان می‌دهد جایگزینی شورتینینگ توسط اولئوژل باعث تفاوت معناداری در این ویژگی می‌شود و به طور معنی دار میزان روشنی (L^*) نمونه‌های کیک با جایگزینی شورتینینگ با اولئوژل افزایش پیدا کرد ($P \leq 0.05$). همانطور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود بیشترین مقدار روشنی ($L^* = 11.77$) در تیمار حاوی ۵٪ موم زنبور عسل با سطح جایگزینی ۵۰٪ مشاهده شد، در حالی که کمترین روشنی مربوط به نمونه شاهد تهیه شده با شورتینینگ کامل بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از اولئوژل موجب افزایش روشنی و بهبود ظاهر کیک می‌شود. بازتاب بهتر نور در شبکه کریستالی لیپیدی موجود در اولئوژل‌ها می‌تواند از مهم ترین دلایل افزایش روشنائی در کیک‌های حاوی روغن جایگزین می‌باشد. همچنین اولئوژل‌ها به علت ویژگی‌های رئولوژیکی متفاوت می‌توانند اندازه و توزیع حباب‌های هوا را در فرمولاسیون تغییر دهند. در حقیقت کاهش محتوی چربی جامد (شورتینینگ)

و حضور روغن مایع بیشتر، با تشکیل ساختار
یکنواخت تر باعث پخش بهتر نور و در نتیجه کاهش
جذب نور می می شود که روشنی فرآورده را بیشتر می
کند (۲۶).

جدول ۳- تأثیر جایگزینی اولئوژل موم زنبورعسل -روغن آفتابگردان بر ویژگی های بافتی کیک روغنی در طی دوره نگهداری

Table 3. The effect of replacing beeswax-sunflower oil oleogel on the textural properties of oil-based cake during the storage period

نمونه Sample	ویژگی های بافتی Textural properties								
	سختی (نیوتن) Hardness (N)			خاصیت ارتجاعی (میلی متر) Elasticity(mm)			قابلیت جویدن (نیوتن) Chewiness (N)		
	روز (day)			روز (day)			روز (day)		
	0	7	14	0	7	14	0	7	14
T1	4.30 ^{Cc} ± 0.26	6.21 ^{Cb} ± 0.18	8.35 ^{Bca} ± 0.03	1.80 ^{Aa} ± 0.13	1.78 ^{Aa} ± 0.05	0.94 ^{Ab} ± 0.19	0.72 ^{Dc} ± 0.14	0.81 ^{Cb} ± 0.10	1.26 ^{Ca} ± 0.01
T2	4.63 ^{Cc} ± 0.38	6.37 ^{Cb} ± 0.16	8.86 ^{Ba} ± 0.03	1.75 ^{Aa} ± 0.11	1.66 ^{Bb} ± 0.01	0.80 ^{Bc} ± 0.10	0.73 ^{Dc} ± 0.16	0.84 ^{Bb} ± 0.09	1.47 ^{Ca} ± 0.05
T3	5.07 ^{Bc} ± 0.35	6.02 ^{Cb} ± 0.13	7.92 ^{Ca} ± 0.06	1.66 ^{Ba} ± 0.09	1.63 ^{Ba} ± 0.04	0.71 ^{Cb} ± 0.12	0.76 ^{Cc} ± 0.21	0.87 ^{Bb} ± 0.10	1.63 ^{Ca} ± 0.04
T4	4.80 ^{Cc} ± 0.26	6.85 ^{Bb} ± 0.10	8.98 ^{Ba} ± 0.01	1.63 ^{Ba} ± 0.10	1.60 ^{Ba} ± 0.04	0.73 ^{Cb} ± 0.08	0.78 ^{Cc} ± 0.19	0.89 ^{Bb} ± 0.09	1.92 ^{Ba} ± 0.04
T5	5.46 ^{Bc} ± 0.35	6.89 ^{Bb} ± 0.14	9.12 ^{ABa} ± 0.06	1.50 ^{Ca} ± 0.10	1.57 ^{Ca} ± 0.04	0.70 ^{Cb} ± 0.10	0.82 ^{Bc} ± 0.25	0.91 ^{Bb} ± 0.12	1.99 ^{Ba} ± 0.04
T6	5.80 ^{Bc} ± 0.30	7.80 ^{Ab} ± 0.15	9.34 ^{Aa} ± 0.06	1.56 ^{Ca} ± 0.07	1.52 ^{Ca} ± 0.04	0.70 ^{Cb} ± 0.10	0.84 ^{Bc} ± 0.18	0.96 ^{Ab} ± 0.12	2.21 ^{Aa} ± 0.04
T7	5.80 ^{Bc} ± 0.36	7.55 ^{Ab} ± 0.15	9.52 ^{Aa} ± 0.05	1.54 ^{Ca} ± 0.09	1.48 ^{Da} ± 0.01	0.71 ^{Cb} ± 0.10	0.86 ^{aA} ± 0.26	0.96 ^{Ab} ± 0.09	2.50 ^{Aa} ± 0.04
T8	6.06 ^{Ac} ± 0.35	7.41 ^{Ab} ± 0.14	9.47 ^{Aa} ± 0.05	1.48 ^{Da} ± 0.09	1.46 ^{Da} ± 0.05	0.69 ^{CDb} ± 0.14	0.88 ^{Ac} ± 0.19	0.98 ^{Ab} ± 0.10	2.67 ^{Aa} ± 0.04
T9	6.76 ^{Ac} ± 0.35	7.71 ^{Ab} ± 0.14	9.68 ^{Aa} ± 0.05	1.42 ^{Da} ± 0.10	1.48 ^{Da} ± 0.05	0.61 ^{Db} ± 0.10	0.88 ^{Ac} ± 0.18	0.99 ^{Ab} ± 0.10	2.70 ^{Aa} ± 0.04
شاهد control	4.02 ^{Cc} ± 0.30	6.06 ^{Cb} ± 0.20	8.04 ^{Ca} ± 0.06	1.80 ^{Aa} ± 0.10	1.37 ^{Eb} ± 0.04	0.98 ^{Ac} ± 0.15	0.70 ^{Db} ± 0.19	0.75 ^{Db} ± 0.10	0.97 ^{Da} ± 0.05

*تفاوت در حروف بزرگ و کوچک انگلیسی بیانگر تفاوت معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد به ترتیب بین تیمارهای اولئوژل و زمان نگهداری است.

The difference in uppercase and lowercase letters indicates significant differences, corresponding respectively to oleogel treatments and storage time ($p < 0.05$).

شاخص های a^* و b^* : نتایج رنگ سنجی نشان داد که جایگزینی شورتینینگ با اولئوژل ها اثر معنی داری بر شاخص های رنگی قرمزی a^* و زردی b^* کیک داشت ($P \leq 0.05$). بیشترین مقدار زردی b^* (۲۷/۹۱) و کمترین مقدار قرمزی a^* (۳۰/۳۰) در تیمار حاوی ۵٪ موم زنبور عسل با سطح جایگزینی ۵۰٪ مشاهده شد، در حالی که کمترین مقدار زردی b^* (۱۶/۸۲) و بیشترین مقدار قرمزی a^* (۴/۵۱) در نمونه شاهد تهیه شده با شورتینینگ کامل ثبت گردید (جدول ۴). این یافته ها نشان می دهد که استفاده از اولئوژل موجب تغییرات محسوس در رنگ کیک شده و می تواند به

بهبود ویژگی های ظاهری محصول کمک کند. تغییرات شاخص های قرمزی a^* و زردی b^* نیز وابسته به سطح بکارگیری اولئوژل در فرمولاسیون کیک بود به طوری که افزایش سطح بکارگیری اولئوژل ها منجر به افزایش شاخص زردی b^* و کاهش میزان قرمزی a^* آنها شد. کاهش شاخص قرمزی a^* در نمونه های حاوی اولئوژل می تواند به طور غیر مستقیم با کاهش شدت واکنش های قهوه ای شدن غیر انزیمی مرتبط باشد. اگرچه در این پژوهش داده مستقیمی از دما، PH، فعالیت آبی در حین پخت ارائه نشده است. اما تغییر در نوع سیستم چربی و ساختار ماتریس کیک

احتمالاً منجر به توزیع متفاوت رطوبت و محدود شدن تحرک واکنش دهنده‌ها شده است که می‌تواند بر سرعت و شدت واکنش میلارد اثر گذار باشد. به‌علاوه Yilmas و ogutcu (۲۰۱۵) نشان دادند در طی نگهداری بخشی از رطوبت محصول تبخیر شده که این عمل منجر به کاهش شاخص روشنایی و افزایش شاخص زردی در نمونه‌های مافین خواهد شد (۲۳).

همچنین افزایش شاخص زردی b^* در تیمارهای حاوی اولئوژل می‌تواند به رنگ ذاتی روغن مایع مورد استفاده در ساخت اولئوژل و یا موم زنبور عسل و حضور ترکیبات رنگ زای طبیعی مانند کاروتنوئیدها مرتبط باشد. از طرفی در نمونه ای حاوی اولئوژل، با کاهش چربی اشباع و افزایش رطوبت، روند واکنش‌های قهوه‌ای شدن میلارد نیز کند تر شده که ایجاد رنگ زردی b^* را غالب تر و قرمزی a^* را کند تر می‌کند (۲۲). همچنین کاهش اکسیداسیون رنگدانه‌ها در اثر ساختار ژل شده فاز روغنی ممکن است در حفظ و تقویت تون زرد رنگ کیک نقش داشته باشد. علاوه بر واکنش‌های شیمیایی، تغییرات مشاهده شده در شاخص‌های رنگی می‌تواند به اصلاح ساختار بافتی کیک نیز مرتبط باشد.

افزایش یکنواختی شبکه بافت و توزیع همگن تر حباب‌های هوا در نمونه‌های حاوی اولئوژل، باعث بازتاب یکنواخت تر نور و کاهش تیرگی ظاهری سطح کیک شده است. چنین تغییرات ساختاری می‌تواند بدون لزوماً افزایش شدت واکنش میلارد، منجر به بهبود روشنایی و زردی محصول شوند. به‌طور کلی نتایج حاکی از آن است که تغییرات رنگ کیک‌ها تحت تاثیر برهمکنش پیچیده‌ای از ترکیب چربی، ویژگی‌های ساختاری بافت و واکنش‌های قهوه‌ای شدن قرار دارد و نمی‌توان آن را صرفاً به یک مکانیسم منفرد نسبت داد. براساس نتایج به دست آمده

از این تحقیق نیز با افزایش سهم اولئوژل کاهش معنا داری در مقدار شاخص قرمزی در نمونه‌ها مشاهده شد. Feng و همکاران (۲۰۲۳) وقوع بیشتر کاراملیزاسیون قندها و دنا توره شدن پروتئین‌ها در طی فرآیند پخت را دلیل افزایش رنگ زرد طلایی در کیک‌های حاوی اولئوژل دانستند (۴۴).

شدت رنگی: در این پژوهش تغییرات رنگ نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی شورتینینگ با اولئوژل افزایش پیدا کرد. نتایج رنگ‌سنجی نشان داد که جایگزینی شورتینینگ با اولئوژل‌ها اثر معنی‌داری بر شدت رنگ کیک (C^*) داشت ($P \leq 0/05$). بنابراین بیشترین شدت رنگ در تیمار حاوی موم ۵٪ و جایگزینی ۵٪ و کمترین آن در نمونه شاهد (به‌ترتیب ۲۸/۱ و ۱۷/۴۱) دیده شد. البته ماهیت ژلاتور مورد استفاده در تعیین شدت رنگی محصول تاثیر زیادی دارد. استفاده از اولئوژل تهیه‌شده از موم زنبور عسل در روغن آفتابگردان می‌تواند موجب افزایش فاکتور زردی (b^*) در کیک نسبت به نمونه شاهد حاوی شورتینینگ شود. این تغییر رنگ عمدتاً به دلیل ماهیت رنگدانه‌ای موم زنبور عسل و ته‌رنگ زرد طبیعی روغن آفتابگردان است که در ماتریس خمیر باقی می‌ماند. علاوه بر این، ساختار ژلاتوری اولئوژل با پراکندگی نور در بافت خمیر، شدت زردی موجود در ترکیبات را برجسته‌تر می‌سازد. در مقابل، شورتینینگ به دلیل رنگ سفید یا کرم روشن، تأثیر اندکی بر رنگ نهایی دارد و همین تفاوت باعث می‌شود نمونه‌های حاوی اولئوژل زردتر به نظر برسند. بنابراین، افزایش درصد اولئوژل در فرمولاسیون می‌تواند به‌طور غیرمستقیم به افزایش شدت رنگی کیک تهیه شده تاثیرگذار باشد (۳۷).

تغییرات رنگی (ΔE): نتایج نشان داد که جایگزینی شورتینینگ با اولئوژل‌ها اثر معنی‌داری بر تغییرات کلی رنگ کیک (ΔE) داشت ($P \leq 0/05$). بیشترین تغییر

رنگ در تیمار حاوی ۵٪ موم زنبور عسل با جایگزینی ۵۰٪ مشاهده شد، در حالی که کمترین تغییر رنگ در نمونه شاهد تهیه شده با شورتینگ کامل ثبت گردید. این یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از اولئوژل موجب تغییرات محسوس در رنگ کیک می‌شود. سطح جایگزینی و درصد موم نقش مهمی در ایجاد این تغییرات دارند. بیشترین مقدار تغییرات رنگی نسبت به نمونه شاهد در نمونه با T9 حاوی ۵٪ موم زنبور عسل و جایگزینی ۵۰٪ گزارش شد (۱۷/۲۱) و کمترین مقدار (ΔE) در تیمارهای با درصد پایین جایگزینی T1 (۷/۳۵) مشاهده شد که از نظر آماری در گروهی مجزا قرار گرفت. این نتایج نشان می‌دهد هرچه میزان ژلاتور در اولئوژل افزایش یابد یا سهم اولئوژل در فرمولاسیون کیک بیشتر شود، شدت تغییرات قابل تشخیص رنگی نسبت به نمونه شاهد یعنی کیک‌های حاوی شورتینگ افزایش می‌یابد. اگرچه کاهش شاخص a^* می‌تواند به‌طور غیرمستقیم با کاهش شدت واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی مرتبط باشد، اما از آنجا که داده مستقیمی از دما، PH و فعالیت آبی در این پژوهش ارائه نشده است. این تفسیر با احتیاط مطرح می‌شود. علاوه بر واکنش‌های شیمیایی، بهبود یکنواختی ساختار بافت و توزیع همگن تر نور در نمونه‌های حاوی اولئوژل نیز

می‌تواند نقش مهمی در افزایش روشنایی و زردی ظاهری کیک ایفا کرده باشد. همچنین تغییرات رنگی ناشی از رنگ زرد طبیعی موم زنبور و روغن آفتابگردان که با افزایش غلظت در بافت کیک بیشتر نمایان می‌شود و حضور ترکیبات رنگدار در ژلاتور موجب جذب و بازتاب نور به شکل متفاوتی نسبت به شورتینگ می‌گردد و در نتیجه ته‌رنگ زرد آشکارتر می‌شود. از سوی دیگر، ساختار شفاف‌تر اولئوژل نسبت به شورتینگ باعث تغییر در پراکندگی نور در بافت کیک شده و شدت رنگ را افزایش می‌دهد. همچنین واکنش‌های حرارتی ترکیبات گیاهی در طول پخت (مانند کاراملیزاسیون یا اکسیداسیون ملایم) می‌تواند به تشدید رنگ زرد یا قهوه‌ای منجر شود. بنابراین، افزایش سهم اولئوژل یا ژلاتور نه تنها رنگ کیک را از حالت سفید و یکنواخت شورتینگ دور می‌کند، بلکه آن را به سمت زرد روشن‌تر و قابل تشخیص سوق می‌دهد، هرچند این تغییرات همچنان در محدوده پذیرش مصرف‌کننده قرار دارند (۳۶). در مجموع نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که تغییرات رنگ کیک‌ها تحت تاثیر هم زمان نوع سیستم چربی، سطح جایگزینی اولئوژل و ویژگی‌های ساختاری بافت قرار دارد و تحلیل آماری تیمارها تایید کننده این تغییرات است.

جدول ۴- تأثیر جایگزینی اولئوژل موم زنبورعسل و روغن آفتابگردان بر ویژگی‌های رنگی کیک روغنی

Table 4. Effect of beeswax-sunflower oil oleogel replacement on the color properties of oil-based cake

تیمار	روشنایی L^*	قرمزی a^*	زردی b^*	شدت رنگ C^*	تغییرات رنگ ΔE
شاهد	$64.01^c \pm 0.37$	$4.51^a \pm 0.24$	$16.82^d \pm 0.43$	$28.10^a \pm 0.56$	-
T1	$71.22^b \pm 0.33$	$4.30^a \pm 0.30$	$18.25^b \pm 0.44$	$18.75^b \pm 0.53$	$7.35^c \pm 0.12$
T2	$71.86^b \pm 0.34$	$4.00^b \pm 0.30$	$19.50^b \pm 0.36$	$20.03^b \pm 0.76$	$8.33^c \pm 0.19$
T3	$72.45^b \pm 0.35$	$3.80^b \pm 0.30$	$20.60^{ab} \pm 0.53$	$20.94^{ab} \pm 0.60$	$9.28^b \pm 0.14$
T4	$72.77^b \pm 0.27$	$4.28^a \pm 0.28$	$19.43^b \pm 0.49$	$19.89^{bd} \pm 0.54$	$9.17^b \pm 0.38$
T5	$72.80^b \pm 0.30$	$3.74^b \pm 0.24$	$20.90^a \pm 0.56$	$21.23^a \pm 0.41$	$9.75^b \pm 0.46$
T6	$73.55^a \pm 0.35$	$3.52^b \pm 0.32$	$21.64^a \pm 0.52$	$21.92^a \pm 0.49$	$10.74^b \pm 0.13$
T7	$73.80^a \pm 0.30$	$3.90^b \pm 0.06$	$24.14^a \pm 0.52$	$24.45^a \pm 0.44$	$12.24^a \pm 0.13$
T8	$74.97^a \pm 0.37$	$3.60^b \pm 0.13$	$25.31^a \pm 0.48$	$25.56^a \pm 0.46$	$13.06^a \pm 0.32$
T9	$77.11^a \pm 0.32$	$3.30^d \pm 0.26$	$27.91^a \pm 0.57$	$28.10^a \pm 0.56$	$17.21^a \pm 0.13$

*تفاوت در حروف بزرگ و کوچک انگلیسی بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد به ترتیب بین تیمارهای اولئوژل و زمان نگهداری است.

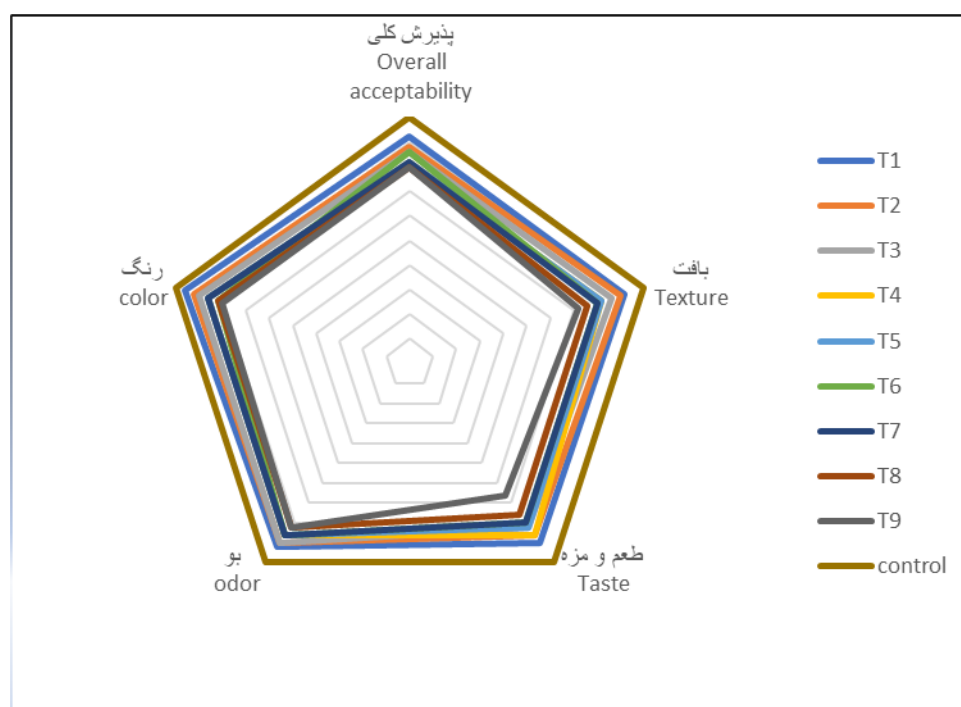
The difference in uppercase and lowercase letters indicates significant differences, corresponding respectively to oleogel treatments and storage time ($p < 0.05$).

ارزیابی حسی: نتایج حاصل از ارزیابی خصوصیات حسی نشان داد که بین نمونه‌های کیک شاهد و نمونه‌های تهیه شده با اولئوژل تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای از نظر طعم و رنگ گزارش نشد. آزمون چند دامنه‌ای دانکن بیانگر آن بود که نمرات طعم در کلیه تیمارها مشابه نمونه شاهد بوده و ارزیابان به کیک‌های حاوی ۱۰ تا ۵۰ درصد اولئوژل امتیازات نسبتاً یکسانی دادند. این یافته نشان می‌دهد که جایگزینی بخشی از شورتینینگ با اولئوژل تأثیر منفی بر طعم نهایی محصول ندارد. دلیل این امر را می‌توان در ماهیت خثی روغن آفتابگردان و موم زنبور دانست که فاقد ترکیبات طعمی قوی هستند و در فرآیند پخت نیز واکنش‌های تولیدکننده ترکیبات فرار طعمی مشابه نمونه شاهد رخ می‌دهد. از نظر بافت، کیک‌های حاوی اولئوژل دارای تخلخل کمتر و قابلیت ارتجاعی پایین‌تر نسبت به کیک‌های سنتی بودند. این تغییرات بافتی ناشی از تفاوت در ساختار کریستالی شورتینینگ و شبکه ژل مانند اولئوژل است؛ شورتینینگ به دلیل داشتن کریستال‌های چربی جامد، توانایی بیشتری در نگهداشتن هوا و ایجاد ساختار متخلخل دارد، در حالی که اولئوژل‌ها شبکه‌ای پیوسته و نسبتاً متراکم ایجاد می‌کنند که منجر به کاهش اندازه حفرات و کاهش الاستیسیته می‌شود (۳۹، ۴۳ و ۴۶). با این حال، برای ارزیابان حسی بازه امتیازات داده شده (از ۳/۲ تا ۴/۶) و نزدیک به تیمار شاهد بود. ارزیابی‌های حسی رنگ‌سنجی نیز اختلاف معنی‌داری بین تیمارها نشان نداد. بازه امتیازات رنگی بین ۳/۸۹ تا ۴/۸۳ گزارش شد که بیانگر شباهت زیاد نمونه‌های اولئوژلی با نمونه شاهد است. اگرچه نتایج ارزیابی رنگ دستگاهی نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف حاوی اولئوژل و نمونه شاهد بود ($P \leq 0/05$)، نتایج ارزیابی حسی منجر به اختلاف معنی‌دار در امتیاز رنگ، طعم و پذیرش کلی نشد ($P > 0/05$). این تفاوت

را می‌توان به حساسیت بالاتر روش‌های دستگاهی نسبت به ادراک انسانی نسبت داد. پارامترهای رنگی اندازه‌گیری شده به ویژه شاخص (ΔE) قادر به شناسایی تغییرات جزئی رنگ هستند، در حالی که چنین تغییراتی لزوماً از آستانه تشخیص بصری مصرف‌کننده عبور نمی‌کنند. بنابراین اگرچه اختلافات رنگی از نظر آماری معنی‌دار بوده‌اند، اما شدت آنها از نظر پانل حسی معنی‌دار و قابل تمایز نبوده است. بنابراین علیرغم تفاوت‌ها عدم مشاهده اختلاف معنی‌دار در فاکتورهای طعم و رنگ نشان می‌دهد که جایگزینی شورتینینگ با اولئوژل تأثیر نامطلوبی بر ویژگی‌های حسی محصول نداشته و فرمولاسیون پیشنهادی از دیدگاه مصرف‌کننده قابل قبول باقی مانده است. این موضوع از منظر کاربرد صنعتی حائز اهمیت بوده و بیانگر امکان استفاده از اولئوژل بدون کاهش کیفیت حسی کیک است (۴۸ و ۴۹). از نظر ارزیابان علیرغم وجود اختلاف در ویژگی عطر و بو در بین تیمارها، این تفاوت جزئی بوده و اختلاف معنی‌دار نبود. این امر احتمالاً ناشی از حضور ترکیبات فرار طبیعی در موم زنبور و تغییر در رهایش ترکیبات عطری طی فرآیند پخت است. با این وجود، کاهش امتیاز در محدوده‌ای بود که همچنان پذیرش کلی محصول را حفظ می‌کرد. در مجموع، پذیرش کلی در تمامی نمونه‌ها قابل قبول گزارش شد (بیشتر از ۳) و نمونه کیک حاوی ۰/۵ درصد موم و جایگزینی ۱۰ درصد چربی کاهش یافته، نزدیک‌ترین امتیاز را به نمونه شاهد داشت (۴/۶). این نتایج نشان می‌دهد که کاربرد اولئوژل به عنوان جایگزین روغن در فرمولاسیون کیک اثر منفی بر پارامترهای حسی ندارد و می‌تواند به عنوان یک راهکار سالم‌تر برای کاهش مصرف چربی‌های اشباع معرفی شود. یافته‌های حاضر با مطالعات پیشین همسو است؛ به‌طور مثال، مطالعه Pehlivanoglu و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد

که نتایج آزمون حسی (احساس دهانی، رنگ، طعم و ظاهر) مشابه نمونه شاهد بود و تنها از نظر اندازه حفرات و توزیع سلول‌های هوا امتیاز کمتری داشتند که همسو با نتایج مطالعه حاضر است (۳۳).

جایگزینی شورتینگ با اولئوژل مبتنی بر موم کارنوبا اثرات نامطلوبی بر خصوصیات حسی نمونه‌های کیک نداشت و پذیرش حسی قابل قبولی گزارش شد. همچنین Patel و همکاران (۲۰۱۴) در ارزیابی خواص حسی کیک اسفنجی تولیدشده با اولئوژل بیان کردند



شکل ۳- اثر درصدهای مختلف الئوژل و سطوح جایگزینی بر ارزیابی حسی در کیک

Figure 3. Effect of different oleogel concentrations and replacement levels on sensory evaluation of cake

باشد. بر این اساس تیمار بهینه کیک با اولئوژل ۳٪ موم در بالاترین سطح جایگزینی می‌تواند به عنوان گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی چربی‌های سنتزی (شورتینگ) در صنعت کیک مطرح شود که با ایجاد توازن مطلوب میان ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی، مناسب‌ترین گزینه برای کاربرد در فرمولاسیون کیک معرفی می‌شود. این یافته‌ها چشم‌انداز روشنی برای استفاده از اولئوژل‌های طبیعی در ارتقای سلامت و کیفیت محصولات قنادی فراهم کرده و مسیر مناسبی برای تحقیقات آینده در زمینه توسعه فرآورده‌های کم‌چرب و سالم‌تر ارائه می‌دهند.

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه، تأثیر جایگزینی شورتینگ با اولئوژل‌های حاوی موم زنبورعسل در فرمولاسیون کیک کم‌کالری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد جایگزینی چربی با اولئوژل ضمن حفظ پذیرش حسی، موجب بهبود معنی‌دار ویژگی‌های بافتی کیک شد و پتانسیل کاربرد آن را به عنوان یک رویکرد مناسب برای اصلاح فرمولاسیون محصولات پختی نشان می‌دهد. همچنین، این جایگزین می‌تواند به‌طور غیرمستقیم در راستای کاهش دریافت اسیدهای چرب اشباع و ترانس موثر

منابع

- O'Brien, R. D. (2008). *Fats and oils: Formulating and processing for applications* (3rd ed.). CRC Press <https://doi.org/10.1201/9781420061673>
- Mattice, K. D., & Marangoni, A. G. (2019). Fat crystallization and structure in bakery, meat, and cheese systems. In *Structure-function analysis of edible fats* (pp. 287–311). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-814041-3.00010-1
- Silva, R. C. d., Ferdaus, M. J., Foguel, A., & da Silva, T. L. T. (2023). Oleogels as a fat substitute in food: A current review. *Gels*, 9(3), 180. doi: 10.3390/gels9030180
- Morvaridzadeh, M., Zoubdane, N., Heshmati, J., Alami, M., Berrougui, H., & Khalil, A. (2024). High-density lipoprotein metabolism and function in cardiovascular diseases: What about aging and diet effects? *Nutrients*, 16(5), 653. <https://doi.org/10.3390/nu16050653>
- Medina-López, S. V., Zuluaga-Domínguez, C. M., Fernández-Trujillo, J. P., & Hernández-Gómez, M. S. (2022). Nonconventional hydrocolloids' technological and functional potential for food applications. *Foods*, 11(3), 401. <https://doi.org/10.3390/foods11030401>
- Hamed, R., Abu Alata, W. A., Abu-Sini, M., Abulebdah, D. H., Hammad, A. M., & Aburayya, R. (2023). Development and comparative evaluation of ciprofloxacin nanoemulsion-loaded bigels prepared using different ratios of oleogel to hydrogels. *Gels*, 9(7), 592. <https://doi.org/10.3390/gels9070592>
- Szymanska, I., Zbikowska, A., & Onacik-Gür, S. (2024). New insight into food-grade emulsions: Candelilla wax-based oleogels as an internal phase of novel vegan creams. *Foods*, 13(5), 729. <https://doi.org/10.3390/foods13050729>
- Baraki, S. Y., Jiang, Y., Li, X., Debeli, D. K., Wang, B., Feng, X., et al. (2021). Stable sunflower oil oleogel from oil/water Pickering emulsion with regenerated chitin. *LWT*, 146, 111483. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111483
- Pan, J., Tang, L., Dong, Q., Li, Y., & Zhang, H. (2021). Effect of oleogelation on physical properties and oxidative stability of camellia oil-based oleogels and oleogel emulsions. *Food Research International*, 140, 110057. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110057
- Goli, A. (2019). Investigation of oleogel characteristics in non-thermal process using gelatin and xanthan biopolymers and its fortification with vitamin D. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 16(89), 249–261.
- Liu, L., Gao, Z., Chen, G., Yao, J., Zhang, X., Qiu, X., et al. (2024). A comprehensive review: Impact of oleogel application on food texture and sensory properties. *Food Science & Nutrition*, 12(6), 3849–3862. DOI: 10.1002/fsn3.4110
- Zulfiqar, A., Shabbir, M. A., Tahir, F., Khan, M. R., Ahmed, W., Yıkımsı, S., et al. (2024). Development of oleogel by structuring the blend of corn oil and sunflower oil with beeswax to replace margarine in cookies. *Food Chemistry: X*, 23, 101676. DOI :10.1016/j.fochx.2024.101676
- Hanifi Vahad, F., Salehi Far, M., & Rahman, A. (2022). Application of organogel containing grape seed oil and carnauba in cake production (Translated from Persian). *Food Processing & Preservation (Farāvarī va Nigahdārī-i Mavādd-i Ghazāyī)*, 14(3), 79. <https://doi.org/10.22069/FPPJ.2022.19920.1693>
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (INSO). (2025). *Cereals and cereal products — Determination of moisture content — Part 1: Reference method (INSO 2705-1:2025; ISO 712-1:2024, IDT)*. Tehran: INSO.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (INSO). (2020). *Animal and vegetable fats and oils — Determination of acid value and acidity (INSO 4187; 2nd revision; ISO 660:2020, IDT)*. Tehran: INSO.
- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (INSO). (2018). *Animal and vegetable fats and oils — Determination of peroxide value — Iodometric (visual) endpoint determination (INSO 4179; 2nd revision; ISO 3960:2017, IDT)*. Tehran: INSO.
- AACC International. (2000). *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists (Method 74-09)*. St. Paul, MN, USA.
- Payan Gandomani, M., Noshad, M., Alizadeh Behbahani, B., & Mohammad Hojjati. (2024). Investigating the effect of soy protein isolate particles fortified with barberry juice concentrate on the functional properties of sponge cake. *Food Processing and Preservation Journal*, 16(2), 1–14. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. <https://doi.org/10.22069/fppj.2024.21692.1785>

19. ASTM International. (2018). *ASTM E308-18: Standard practice for computing the colors of objects by using the CIE system*. West Conshohocken, PA, USA.
20. X. Zangeneh, N., Barzegar, H., Mehrnia, M.A., Noshad, M., and Hojjati, M. 2021. Effect of different fractions of oleaster (*Elaeagnus angustifolia*) flour on gluten free sponge cake properties. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 17(1): 69–81. DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.84229
21. Mert, B., & Demirkesen, I. (2016). Evaluation of highly unsaturated oleogels as shortening replacer in a short dough product. *LWT – Food Science and Technology*, 68, 477–484. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.063>
22. Baştürk, A., Badem, Ş., & Ceylan, M. M. (2023). Propolis and carnauba wax- based safflower oil oleogels as fat substitutes in cakes: Production, oxidative stability, and characterization. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 125(9), 2200213. Wiley. <https://doi.org/10.1002/ejlt.20220>
23. Ögütçü, M., & Yılmaz, E. (2012). Wax oleogels: Effect of wax concentration and oil type on physical properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(8), 1425–1435. <https://doi.org/10.1007/s11746-012-2045-4>
24. Ramadhan, W., Firdaos, A. N., Krisnawan, W. V., Suseno, S. H., Riyanto, B., Trilaksani, W., et al. (2024). Synthesis of a sustainable marine oleogel and its application as a fat substitute in a sponge cake system. *Sustainable Food Technology*, 2(4), 1022–1032. <https://doi.org/10.1039/D3FB00239J>
25. Palla, C. A., Wasinger, M. F., & Carrín, M. E. (2021). Monoglyceride oleogels as fat replacers in filling creams for sandwich cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(6), 2398–2405. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10863>
26. Khiyabani Arezoali, A., Tabibi, M., Roufeghari, L., Hamishehkar, H., & Alizadeh, A. (2020). Feasibility study of carnauba wax-adipic acid oleogel as a shortening replacer in cake. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 17(103), 83–93. DOI: 10.52547/fsct.17.103.83
27. X. Badem, Ş., & Baştürk, A. (2023). Oxidative stability and characterization of oleogels obtained from safflower oil- based beeswax and rice bran wax and their effect on the quality of cake samples. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 100(8), 635–649. doi:10.1002/aocs.12694.
28. Pehlivanoglu, H., Ozulku, G., Yildirim, R. M., Demirci, M., Toker, O. S., & Sagdic, O. (2018). Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and low-calorie oleogels as shortening mimetics in cake. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(6), e13621. DOI: 10.1111/jfpp.13621
29. Kim, J. Y., Lim, J., Lee, J., Hwang, H. S., & Lee, S. (2017). Utilization of oleogels as a replacement for solid fat in aerated baked goods: Physicochemical, rheological, and tomographic characterization. *Journal of Food Science*, 82(2), 445–452. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13583>
30. Ye, X., Li, P., Lo, Y. M., Fu, H., & Cao, Y. (2019). Development of novel shortenings structured by ethylcellulose oleogels. *Journal of Food Science*, 84(6), 1456–1464. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14615>.
31. Demirkesen, I., & Mert, B. (2019). Utilization of beeswax oleogel-shortening mixtures in gluten-free bakery products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(5), 545–554. <https://doi.org/10.1002/aocs.12195>.
32. Oh, I., Lee, J., Lee, H. G., & Lee, S. (2019). Feasibility of hydroxypropyl methylcellulose oleogel as an animal fat replacer for meat patties. *Food Research International*, 122, 566–572. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.01.012
33. Patel, A. R., Cludts, N., Sintang, M. D. B., Lesaffer, A., & Dewettinck, K. (2014). Edible oleogels based on water soluble food polymers: Preparation, characterization and potential application. *Food & Function*, 5(9), 2224–2232. <https://doi.org/10.1039/C4FO00624K>.
34. Doan, C. D., Patel, A. R., Tavernier, I., De Clercq, N., Van Raemdonck, K., Van de Walle, D., et al. (2016). The feasibility of wax-based oleogel as a potential co-structurant with palm oil in low-saturated fat confectionery fillings. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118(12), 1903–1914. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201500172>.
35. Adili, F., Roufeghari-Nejad, M., Tabibi-Azar, F., Hamishehkar, R., Alizadeh, M., & Ainaz, S. (2021). The effect of replacing shortening with adipic acid-reinforced ethyl cellulose on physicochemical and sensory properties of oil cake. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Industries*, 15(4), 71–8. <https://doi.org/10.0410/cata/466f4e196a12bc96ae7c6387a51bd41f>
36. Jaber, P., Pedramnia, N., Tabasi, N., Elhamirad, M., & Shafafi, S. (2022). Production of reduced-oil muffins using egg white protein-soluble complex and xanthan gum oleogel by foam molding. *Iranian Journal of Food Science and Technology (Translated from Persian)*. <https://ifstrj.um.ac.i>
37. X. Perța-Crișan, S., Ursachi, C.-Ş., Chereji, B.-D., Tolan, I., & Munteanu, F.-D. (2023). Food- grade oleogels: Trends in analysis, characterization, and applicability. *Gels*, 9(5), 386. <https://doi.org/10.3390/gels9050386>.

38. Zhao, M., Rao, J., & Chen, B. (2024). Evaluating high oleic soybean oil oleogels as shortening replacements: Impact on cookie dough, cookie attributes, and oxidative stability. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 101(8), 753–765. <https://doi.org/10.1002/aocs.12823>.
39. Espert, M., Hernández, M. J., Sanz, T., & Salvador, A. (2022). Rheological properties of emulsion templated oleogels based on xanthan gum and different structuring agents. *Current Research in Food Science*, 5, 564–570. DOI: 10.1016/j.crfs.2022.03.001
40. Ebrahimzadeh, A., Ghasemi, M., Mozahedi, M., & Haddad Khodaparast, M. H. (2023). Production of oleogel from sunflower oil using a combination of carnauba and beeswax and its application as a solid fat (shortening) substitute in cookie formulation (Translated from Persian). *Food Engineering Research*, 23(75), 155–176. <https://fooder.areeo.ac.ir>
41. Ozdemir- Orhan, N., Eroglu, Z., & Omac, B. (2024). Changes in quality characteristics and inactivation of Salmonella in cake, including oleogel used as a fat replacer, baked with two different methods. *Journal of Food Science*, 89(12), 9595–9607. DOI: **10.1111/1750-3841.17540**
42. Smith, A. M., & Zeeman, S. C. (2020). Starch: A flexible, adaptable carbon store coupled to plant growth. *Annual Review of Plant Biology*, 71(1), 217–245. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100220>.
43. Lee, J. W., Kim, H. S., Bae, I. Y., Lee, K. Y., Kim, M. H., Han, G. J., et al. (2014). Antistaling of rice starch in a gel model system and Korean rice cake: The role of wheat flour in retrogradation-retardation technology. *Food Science and Biotechnology*, 23(3), 781–786. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0143-3>.
44. Malvano, F., Laudisio, M., Albanese, D., d'Amore, M., & Marra, F. (2022). Olive oil-based oleogel as fat replacer in a sponge cake: A comparative study and optimization. *Foods*, 11(17), 2643. <https://doi.org/10.3390/foods11172643>.
45. Bourne, M. C. (2002). *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (2nd ed.). San Diego, CA: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012119062-0/50001-1>
46. Patel, A. R. (2017). *Edible oil structuring: Concepts, methods and applications*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781788012904>
47. Naji-Tabasi, S., & Mohebbi, M. (2015). Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(1), 110–119. <https://doi.org/10.1007/s11694-014-9185-2>.
48. Feng, Z., He, D., Zhang, L., Li, Q., Xue, C., Yi, X., et al. (2025). Preparation of myofibrillar protein oleogels by emulsion template method: Application of fat substitute for sponge cakes. *LWT*, 216, 117350. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117350>.
49. Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A.-J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>