

## بررسی تولید اولئوژل از روغن آفتابگردان با استفاده از ترکیب موم‌های کارنوبا و زنبور عسل و کاربرد آن به عنوان جایگزین چربی جامد (شورتینگ) در فرمولاسیون کوکی

علی ابراهیم‌زاده<sup>۱\*</sup>، مریم قاسمی<sup>۲</sup>، مصطفی مظاهری<sup>۳</sup>، محمد حسین حداد خداپرست<sup>۲</sup>

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری، کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

### چکیده

به دلیل تاثیرات منفی که اسیدهای چرب اشباع و ترانس بر سلامت انسان دارند، جایگزینی آنها با اسیدهای چرب غیراشباع و ضروری در رژیم غذایی مورد توجه قرار گرفته است. اخیراً، از روش نوین تولید اولئوژل به عنوان جایگزین چربی جامد مواد غذایی استفاده شده است. هدف از این مطالعه، بررسی تعامل بین دو موم کارنوبا و زنبور عسل به عنوان ژل‌ساز در سطح ۵ درصد وزنی/وزنی در روغن آفتابگردان در نسبت‌های مختلف به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اولئوژل‌ها، از جمله ظرفیت نگهداری روغن، میزان چربی جامد، سفتی و رئولوژی بافت، الگوی پراش پرتو ایکس و پروفایل اسید چرب نمونه‌هاست. مطلوب‌ترین اولئوژل از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و جایگزین کردن آن به جای شورتینگ در درصدهای مختلف نیز به عنوان چربی جامد در فرمولاسیون کوکی با هدف کاهش اسید چرب اشباع انتخاب شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که ترکیب موم‌های زنبور عسل و کارنوبا در تشکیل ژل روغنی، از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اثر هم‌افزایی دارند. از نمونه اولئوژل تهیه شده از نسبت ۱:۴ موم زنبور عسل به موم کارنوبا، به عنوان اولئوژل مطلوب در بخش دوم برای جایگزین شورتینگ در کوکی استفاده شد. به طور کلی، این نسبت این امکان را می‌دهد که بدون تاثیر بر ویژگی‌های اولئوژل بتوان میزان غلظت موم استفاده شده را کاهش داد، این موضوع منجر به کاهش احساس دهانی موم گردید؛ همچنین می‌توان از آن تا سطح ۵۰ درصد به عنوان جایگزین شورتینگ در تهیه کوکی، بدون تغییر خاص در کیفیت نهایی کوکی استفاده کرد که موجب کاهش اسید چرب اشباع در محصول نهایی می‌شود.

### واژه‌های کلیدی: اولئوژل، کوکی، موم کارنوبا، موم زنبور عسل، روغن آفتابگردان، اثر هم‌افزایی

### مقدمه

نقشی که در بهبود بافت، طعم، حفظ رطوبت و افزایش ماندگاری محصول دارند بسیار با اهمیت است (Devi & Khatkar, 2018; Pareyt et al., 2009). شورتینگ‌ها<sup>۱</sup> از انواع چربی‌های خوراکی هستند که به دلایل متعدد در تهیه محصولات نانوائی مانند کیک، کلوچه و کوکی کاربرد گسترده‌ای دارند. شورتینگ‌ها با روان‌سازی منجر به شکل‌پذیری<sup>۲</sup> محصول نهایی و با تثبیت هوا در ساختار باعث

کوکی‌ها به دلیل ارزش غذایی خوب، تنوع انتخاب، ماندگاری بالا و به صرفه بودن جایگاه مهمی در بین محصولات نانوائی دارند. در فرمولاسیون کوکی‌ها، شکر و چربی به مقدار زیاد استفاده می‌شود و در عین حال رطوبت آنها اندک (۱-۵ درصد) است. از میان مواد تشکیل دهنده کوکی، حضور چربی‌ها و روغن‌ها به لحاظ کیفی و کمی و

ایجاد تردی و حفظ کیفیت و حفظ عطر، طعم و ایجاد احساس دهانی مطلوب در محصول می‌شود (Demirkesen & Mert, 2020; Zhao et al., 2020b).

شورتنینگ‌ها اگرچه به بهبود کیفیت محصول کمک می‌کنند، اما حضور اسیدهای چرب اشباع یا اسیدهای چرب غیر اشباع با ایزومری ترانس نگرانی‌هایی را در استفاده از آنها در محصولات مختلف ایجاد کرده است. مصرف زیاد چربی‌های ترانس و اشباع به دلیل افزایش<sup>۱</sup> LDL (لیپوپروتئین با چگالی کم) و کلسترول خون، احتمال خطر بیماری‌های قلبی-عروقی را افزایش می‌دهد (Godoi et al., 2019a; Godoi et al., 2019a). براساس مطالعات اخیر، مصرف اسیدهای چرب اشباع با افزایش مرگ و میر ارتباط مستقیم دارد به نحوی که جایگزینی ۵ درصد انرژی با اسیدهای چرب تک غیراشباعی و چند غیراشباعی به ترتیب باعث کاهش ۱۳ و ۲۷ درصدی مرگ و میر شده است (Jung et al., 2020). با در نظر گرفتن افزایش سطح آگاهی عمومی مصرف‌کنندگان نسبت به مباحث سلامتی، کاربرد رویکردهای جدید برای فرآوری چربی‌ها و روغن‌ها به منظور تولید محصولات غذایی امری ضروری و اجتناب ناپذیر است (Demirkesen & Mert, 2020). به همین دلیل، مفهوم جایگزینی اسیدهای چرب اشباع و ترانس (چربی جامد، نیمه جامد) با اسیدهای چرب اشباع نشده موجود در روغن‌های گیاهی محبوبیت بیشتری پیدا می‌کند. اما، جایگزینی مستقیم چربی جامد با روغن‌ها به دلیل تفاوت در ویژگی‌های ظاهری و حسی و خصوصاً ویژگی‌های ضعیف عملکردی روغن‌های گیاهی، معمولاً گزینه‌ای مناسب است (Aliasl khiabani et al., 2020) و ضرورت ارائه روش‌های جایگزین برای تبدیل روغن‌های گیاهی به چربی‌های جامد یا نیمه جامد با محتوای کم اسیدهای چرب اشباع و ترانس احساس می‌شود (khiabani et al., 2020). اورگانوژلاسیون یک روش

اصلاح ساختار جدید است که در آن مولکول‌های ایجادکننده ژل (اورگانوژلاتورها) با ایجاد شبکه‌ای سه بعدی و برگشت پذیر در برابر حرارت، بخش مایع را به دام می‌اندازد (Buitimea-Cantúa et al., 2021; Mert & Demirkesen, 2016b). اورگانوژل‌ها سیستم‌های دو جزئی هستند و به‌رغم اینکه بخش اعظم آنها را مایع تشکیل می‌دهد، رفتار شبه جامد از خود نشان می‌دهند. این شبکه‌های ژلی از طریق برهمکنش‌های غیرکووالانسی مانند پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی ایجاد می‌شوند (Singh et al., 2017). در سال‌های اخیر، تهیه اولئوژل به عنوان فناوری جایگزین مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. فرایند تهیه اولئوژل ساده و کم هزینه است و تأثیری بر ساختار اسیدهای چرب روغن ندارد. بدین منظور از ژل‌سازهای مختلفی مانند موم‌های گیاهی، مونوگلیسیریدها، فیتواسترول‌ها، اسیدهای چرب و اسیدهای الکلی، لسیتین، تری‌آسیل‌گلیسرول‌های (TAG<sup>1</sup>) با نقطه ذوب بالا، استرهای سوربیتان و مشتقات سلولز استفاده شده است (Silva et al., 2019). امروزه در میان اورگانوژلاتورهای<sup>۲</sup> روغن گیاهی، موم‌های گیاهی جایگاه ویژه‌ای دارند. این موم‌ها در غلظت‌های کم (کمتر از ۱ درصد) قادر به تشکیل ژل هستند. به‌علاوه، این موم‌ها در دسترس هستند و در مقایسه با دیگر مولکول‌های خوراکی هزینه کمی دارند (Sánchez-Becerril et al., 2018). ژل‌سازهای مومی، بسته به منشأ موم، متشکل از انواع آلکان‌ها، الکل‌های چرب و اسیدهای چرب هستند که نسبت این مواد تشکیل‌دهنده نقش مهمی در قابلیت موم در تشکیل ژل دارد. استرهای مومی (در غلظت‌های کم) با کمک بلورهای صفحه-مانند، ساختارهای سه بعدی در روغن‌های خوراکی تشکیل می‌دهند (Singh et al., 2017). لازم است گفته شود که کاربرد بسیاری از موم‌های طبیعی به عنوان افزودنی‌های

کارنوبای زرد تصفیه شده خوراکی از شرکت کیمیا نوین اورگانیک<sup>۵</sup> (کانادا)، موم زنبور عسل خوراکی از شرکت نوترون (ایران) تهیه شدند. برای آماده سازی کوکی‌ها، مواد مورد نیاز شامل آرد، شکر، نشاسته، نمک، بیکربنات سدیم، پودر شیرخشک بدون چربی و روغن صاف ۵۰ نازگل (شورتنینگ) از بازار محلی خریداری شدند.

### روش تهیه اولئوژل و آزمون‌های فیزیکوشیمیایی آن آماده سازی اولئوژل

برای تهیه اولئوژل‌ها از روش گودویی و همکاران (Godoi et al., 2019b)، با کمی اصلاحات، استفاده شد. برای این منظور، اولئوژل‌های روغن آفتابگردان از ترکیب موم‌های کارنوبا و زنبور عسل در سطح ۵ درصد وزنی/ وزنی، در نسبت‌های مختلف که در جدول ۱ بیان شده است استفاده شد. اولئوژل‌ها با حرارت دادن روغن آفتابگردان تا دمای ۹۰ درجه سلسیوس (بالتر از نقطه ذوب موم‌ها) با هم‌زدن مداوم و افزودن آهسته ژل‌سازها (بدون هیچ تیمار قبلی) تهیه شدند. برای پراکندگی کامل، این ترکیبات به مدت ۵ دقیقه در فاز مایع با همزن مغناطیسی مخلوط شدند. پس از اختلاط کامل، اولئوژل‌ها به ظرف‌های آنالیز منتقل شدند و برای تشکیل ساختار و پایداری در شرایط ساکن به مدت ۲۴ ساعت در ۵ درجه سلسیوس و به دور از نور نگهداری شدند. پیش از آزمون، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) نگهداری شدند.

### زمان تشکیل ژل

پنج گرم از هر نمونه اولئوژل در لوله‌های آزمایش به مدت ۲ ساعت در بن ماری با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا به طور کامل ذوب شوند. لوله‌های حاوی نمونه در دمای اتاق قرار داده شدند و مدت زمان تشکیل ژل هنگامی

غذایی تأیید شده است و برخی از موم‌ها مانند موم کندلیلا<sup>۱</sup>، موم کارنوبا<sup>۲</sup> (CW) و موم زنبور عسل<sup>۳</sup> (BW) در زیرمجموعه ترکیبات GRAS<sup>۴</sup> (عموما ایمن شناخته می‌شود) قرار گرفته‌اند (Hwang, 2020). اگرچه امروز به تولید اولئوژل در تحقیقات متعدد اشاره شده است، اما توسعه ژل‌سازها یا سیستم‌های ژل‌سازی جدید با قابلیت ایجاد ژل قوی، ارزان و در دسترس همواره امری مطلوب در صنعت غذا تلقی می‌شود. در این صورت می‌توان از مقدار ژل‌ساز موجود در غذاها کاست و تأثیر آن را بر خواص حسی به حداقل رساند. نتایج برخی پژوهش‌های اخیر در زمینه بررسی سیستم‌های دوتایی و سه تایی ژل‌سازهای مختلف به منظور افزایش خواص اولئوژل‌ها و کاهش اشکالات هر ژل‌ساز نشان داده است که ترکیب دو موم به عنوان ژل‌ساز خاصیت هم‌افزایی دارد، به نحوی که در غلظت‌های کمتر ژل‌ساز می‌توان خاصیت ذوب شدن و نیز استحکام اولئوژل‌ها را بهبود بخشید (Hwang, 2020). در نتیجه، ترکیب و تنظیم نسبت ژل‌سازهای سازگار می‌تواند برای ایجاد بعضی تأثیرات مثبت در ویژگی‌های اولئوژل از لحاظ قانونی، اقتصادی و صنعتی قابل استفاده باشد (Silva et al., 2019; Pakseresht & Mazaheri Tehrani, 2020). بررسی‌ها نشان می‌دهد تحقیق جامعی در زمینه تعامل موم‌های کارنوبا و زنبور عسل، که اثر هم‌افزایی در ساختار اولئوژل دارند صورت نگرفته است. در این راستا، هدف از این پژوهش بررسی تولید اولئوژل از روغن آفتابگردان با استفاده از ترکیبی از موم‌های کارنوبا و زنبور عسل و کاربرد آن به عنوان چربی جامد (شورتنینگ) در فرمولاسیون کوکی است.

### مواد و روش‌ها

#### مواد مورد استفاده

به منظور تهیه اولئوژل، روغن آفتابگردان تصفیه شده و بدون آنتی‌اکسیدان از شرکت لادن (تهران-ایران)، موم

4 Generally Recognized as Safe  
5 Kimia Novin Organics

1 Candelilla Wax  
2 Carnauba Wax  
3 Bees Wax

ثبت شد که با چرخش ۹۰ درجه‌ای هر ۳ تا ۵ ثانیه، پس از ۵ دقیقه، جریانی مشاهده نشد. اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار دنبال شد (Fayaz et al., 2017).

#### ارزیابی بافت

برای اندازه‌گیری سفتی نمونه‌ها، آزمون نفوذ با استفاده از دستگاه تحلیلگر بافت (مدل LLOYD, Instrument TA Ametek, Plus) در دمای اتاق اجرا گردید. در این آزمون، حدود  $2 \pm 20$  گرم نمونه اولئوژل در ظروف استوانه‌ای با ابعاد  $29 \times 45$  سانتی‌متر ریخته شد و آزمایش نفوذ با استفاده از پروب استوانه‌ای به قطر  $6/2$  میلی‌متر و سل با وزن ۱۰۰ نیوتن با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه و تا عمق ۵ میلی‌متر اجرا گردید (Fayz et al., 2017).

#### خواص ویسکوالاستیک

از رئومتر نوسانی (دینامیک) برای اندازه‌گیری مدول الاستیسیته ( $G'$ ) و ویسکوز ( $G''$ ) استفاده می‌شود. ویژگی‌های رئولوژیکی با پروب صفحه‌ای موازی در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۵-۴ گرم اولئوژل روی صفحه دستگاه ریخته و فاصله پروب با نمونه ۱ میلی‌متر تنظیم شد.  $G'$ ،  $G''$  با اسکن فرکانس ۱۰-۱/۱ هرتز با کرنش ثابت ۰/۰۲ درصد (در ناحیه ویسکوالاستیک خطی) اندازه‌گیری شد (Fayaz et al., 2017).

#### الگوی پراش پرتو ایکس (XRD)<sup>2</sup>

به منظور تجزیه و تحلیل ساختار کریستالی اولئوژل‌ها، از آنالیز پراش پرتو ایکس (مدل Philips, Nederland, PW3710) استفاده شد. این آزمون، با استفاده از یک پراش‌سنج پرتو X، با منبع تابش Cu در دامنه ۲θ از ۵ تا ۴۰ درجه و با سرعت ۰/۶ درجه در دقیقه و گام ۰/۰۲ درجه اسکن شد، و نتایج با نرم افزار High Score Plus نسخه ۳/۰/۵ آنالیز شد (Li et al., 2021a).

#### ظرفیت نگهداری روغن اولئوژل‌ها

ابتدا لوله‌های خالی میکروتیوب وزن شدند (a)، پس از آن دو میلی‌لیتر از نمونه اولئوژل‌های ذوب شده در دمای ۷۰ درجه سلسیوس داخل هر میکروتیوب ریخته شد. بعد از نگهداری میکروتیوب‌ها در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت، لوله‌ها مجدداً توزین (b) و سپس در شرایط ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق سانتریفیوژ شدند (با سانتریفیوژ مدل (Sigma, America, D-37520)). بعد از آن، لوله‌های میکروتیوب به مدت ۳ دقیقه روی کاغذ فیلتر برگردانده شدند تا روغن‌های رویی اضافی خارج شوند، سپس، بار دیگر میکروتیوب‌ها وزن شدند (c). ظرفیت نگهداری روغن ( $OBC^1$ ) با رابطه ۱ محاسبه شد (khiabani et al., 2020):

$$\%OBC = 100 - \left( \frac{(b-a) - (c-a)}{(b-a)} \times 100 \right) \quad (1)$$

#### رنگ

پارامترهای رنگ اولئوژل‌ها ( $L^*$ : میزان روشنایی نمونه،  $a^*$ : میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ سبز و قرمز،  $b^*$ : میزان نزدیکی رنگ نمونه به رنگ‌های آبی و زرد) با دستگاه هانتربل (مدل Reston, America, Color Flex) اندازه‌گیری شد. برای این منظور حدود ۱۰ گرم نمونه در دمای اتاق روی پلیت دستگاه قرار داده شد و پارامترهای رنگی خوانده شدند.

#### تعیین میزان چربی جامد

میزان چربی جامد نمونه‌ها با استفاده از طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای متناوب (مدل MQ20

بررسی تولید اولئوژل از روغن آفتابگردان با استفاده از ترکیب موم‌های کارنوبا و زنبور عسل و کاربرد آن ...

جدول ۱. نسبت به غلظت‌های مختلف موم در ۵ درصد وزنی/وزنی برای تهیه اولئوژل

**Table 1. Different concentrations of wax at 50% w/w for the preparation of Oleogel**

روغن آفتابگردان Sunflower Oil	موم کارنوبا Carnauba Wax	موم زنبور عسل Bees Wax	تیمار Treatment
95	0	5	B5
95	1	4	B4C1
95	2	3	B3C2
95	2.5	2.5	B2.5C2.5
95	3	2	B2C3
95	4	1	B1C4
95	5	0	C5

جدول ۱. نسبت‌های مختلف شورتنینگ و اولئوژل در فرمولاسیون کوکی

**Table 2. Different proportions of shortening and oleogel in cookie formulation**

اولئوژل مطلوب در سطح ۵ درصد (درصد) Optimum oleogel at 5% (%)	شورتنینگ (درصد) Shortening(%)	تیمار Treatment
0	100	SH
25	75	SH3O1
50	50	SH2O2
75	25	SH3O1
100	0	O
		SW

از روغن مایع آفتابگردان (۱۰۰ درصد) استفاده شد.  
Sunflower oil (100%) was used.

شد. ابتدا مخلوط کوکی استاندارد به عنوان مخلوط خشک تهیه شد که شامل ۶۵ درصد آرد گندم، ۱۹ درصد پودر شکر، ۱۱ درصد مالتودکسترین، ۳/۵ درصد نشاسته ذرت، ۰/۵ درصد بیکنینگ پودر (۲:۳، پیروفسفات سدیم: بی‌کربنات سدیم) و ۱ درصد نمک بود. در مرحله بعد، ۲۴/۰۷ درصد از شورتنینگ (یا جایگزین آن) و ۷/۱۵ درصد تخم مرغ کامل همگن شده در یک کاسه به مخلوط خشک گفته شده افزوده شد سپس، با میکسر به مدت ۴ دقیقه با سرعت ۲ و به مدت ۲ دقیقه با سرعت ۱ به هم زده شد. خمیر به دست آمده پس از دو دقیقه ورز دادن، به مدت نیم ساعت استراحت داده شد. خمیر با وردنه به ضخامت ۵/۷۵ میلی‌متر درآمد و با استفاده از قالب دایره‌ای به قطر ۶۰ میلی‌متر برش داده شد. خمیر کوکی‌ها روی سینی داخل فر به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. پس از سرد شدن

ترکیب اسیدهای چرب

اندازه‌گیری پروفایل اسیدچرب نمونه‌ها به روش کروماتوگرافی گازی موبینه (مدل Younglin, YL6500) Korea, مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله و ستون موبینه CP Si1 88 FS با طول، قطر و ضخامت داخلی به ترتیب ۱۰۰ متر، ۰/۲۵ میلی‌متر و ۰/۲ میکرومتر مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره‌های ۱۳۱۲۶-۲ و ۱۳۱۲۶-۴ اندازه‌گیری شد (INSO, 2014).

روش تهیه کوکی و آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی آن

روش تهیه کوکی

برای تهیه کوکی از روش ییلماز و همکاران (Yılmaz & Ögütçü, 2015)، با کمی اصلاحات، استفاده شد. شش نوع کوکی براساس جایگزینی شورتنینگ طبق جدول ۲ آماده

در دمای اتاق، نمونه‌های کوکی در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار بسته بندی و تا زمان تجزیه و تحلیل در دمای اتاق نگهداری شدند. (D/T) با تقسیم قطر بر ضخامت محاسبه شد. برای هر تیمار از پنج نمونه کوکی برای اندازه‌گیری استفاده و میانگین آنها گزارش شد (Mert & Demirkesen, 2016b).

#### اندازه‌گیری رنگ کوکی‌ها

پارامترهای رنگ کوکی‌ها با دستگاه هانترلب(مدل Reston, America, Color Flex)، اندازه‌گیری شدند. هر نمونه کوکی در پلیت دستگاه قرار داده شد و پارامترهای رنگی ثبت شدند. برای هر نمونه، حداقل سه تکرار در نظر گرفته شد.

#### سختی کوکی‌ها بعد از پخت

مشخصات بافت نمونه‌های کوکی با استفاده از دستگاه تحلیل گر بافت (مدل LLOYD, Instrument TA Plus Ametek, England)، ۲۴ ساعت پس از پخت تعیین شد. سختی کوکی‌ها با تعیین نیروی شکستن با استفاده از یک اتصال خمشی ۳ نقطه‌ای اندازه‌گیری شد. نمونه‌های کوکی روی شکاف قابل تنظیم قرار گرفتند و برای شکستن نمونه‌ها از تیغه لبه گرد با عرض ۷۰ میلی‌متر و ضخامت ۳ میلی‌متر استفاده شد. سرعت حرکت پروب قبل آزمون: ۰/۶ میلی‌متر بر ثانیه، سرعت در حین آزمون: ۰/۶ میلی‌متر بر ثانیه و سرعت بعد آزمون: ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد حداکثر نیروی مورد نیاز برای شکستن کوکی‌ها به عنوان سختی کوکی ثبت شد. برای هر نمونه حداقل سه تکرار در نظر گرفته شد (Mert & Demirkesen, 2016a).

#### اندازه‌گیری رطوبت کوکی‌ها

برای تعیین مقدار رطوبت کوکی‌ها از روش آون‌گذاری مطابق روش (۱۰-۵۴) AACC استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌های کوکی در آون (مدل PID-C168، شرکت رایمند زیست فناوری ایران) با دمای  $3 \pm 10.5$  درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و درصد رطوبت بر حسب وزن پیش از آون‌گذاری و پس از آون‌گذاری تعیین و نتایج بر اساس وزن مرطوب بیان شد. اندازه‌گیری‌ها سه تکرار داشت و میانگین آنها گزارش شد (Mert & Demirkesen, 2016b).

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

تمامی آزمایش‌ها حداقل با دو تکرار دنبال شد و داده‌ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف معیار<sup>۱۳</sup> گزارش شدند. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و یک‌طرفه اجرا شدند. داده‌ها با آنالیز واریانس (ANOVA<sup>13</sup>) و آزمون مقایسه میانگین نیز با روش دانکن (دانت) در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم افزار SPSS تجزیه تحلیل شدند. نمودارها با نرم افزار IBM SPSS 26 و Microsoft Excel 2019 رسم شدند.

#### نتایج و بحث

##### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولئوژل

##### زمان تشکیل ژل

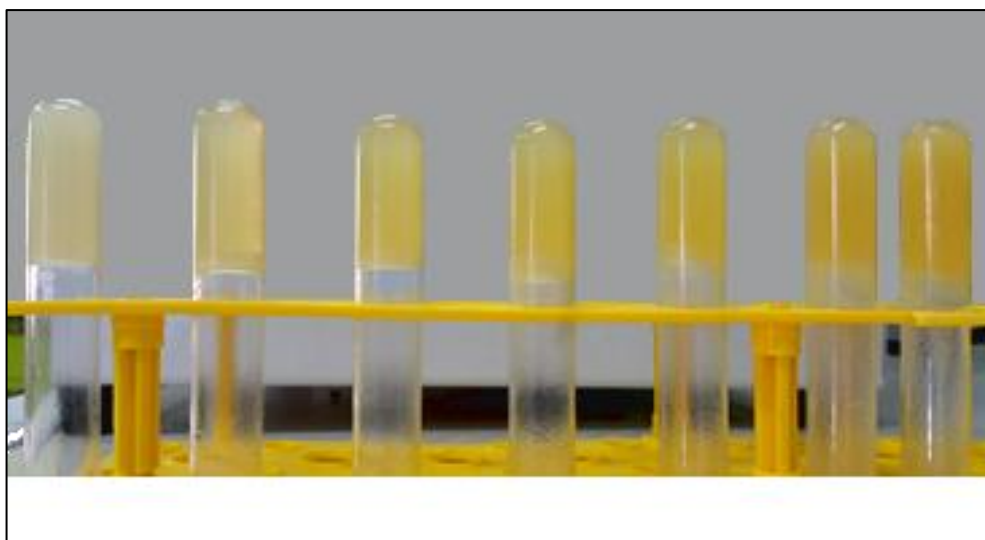
نتایج تشکیل ژل با ژل‌سازهای مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. در این تحقیق، ۷ نمونه اولئوژل مورد نظر همگی ژل تشکیل دادند. بدین صورت که با چرخاندن لوله‌های آزمایشی حاوی نمونه‌ها به سمت پایین جریانی دیده نشد. در جدول ۳، مدت زمان تشکیل ژل برای تیمارهای مختلف

##### مشخصات بُعدی کوکی‌ها

ویژگی‌های ابعادی کوکی‌ها از نظر ضخامت، قطر و نسبت گسترش‌پذیری ارزیابی شد. پس از خنک شدن کوکی‌ها به مدت ۶۰ دقیقه، ضخامت (T، میلی‌متر) و قطر (D، میلی‌متر) نمونه‌های کوکی با استفاده از کولیس دیجیتالی (مدل 550- Mitutoyo, Japan, 115) اندازه‌گیری شد. نسبت گسترش

تشکیل ژل را می‌توان به غلظت بحرانی تشکیل ژل و نقطه ذوب ژل‌سازها نسبت داد. در تحقیقات نشان داده‌اند که برای موم زنبور عسل و موم کارنوبا، غلظت بحرانی برای تشکیل ژل به ترتیب ۳-۲ درصد و ۵-۳ درصد و نقطه ذوب به ترتیب ۶۲ و ۸۴ درجه سلسیوس است. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که با افزایش غلظت ژل‌سازها به سطوح بالاتر در اولئوژل با وجود روغن‌های متفاوت، مدت زمان تشکیل ژل کمتر می‌شود (Dassanayake et al., 2009; Fayaz et al., 2017; Hwang et al., 2012; Ölütcü & Yilmaz, 2015a; Yilmaz & Öğütçü, 2014).

نشان داده شده است. زمان ژل شدن روغن‌ها از ۵ دقیقه و ۱۹ ثانیه تا ۸ دقیقه و ۴۴ ثانیه متغیر است که نشان می‌دهد مدت زمان لازم برای تشکیل ژل پایدار کوتاه بوده است. با توجه به داده‌های جدول ۳، افزایش موم کارنوبا تا ۵۰ درصد در نسبت ژل‌سازها، مدت زمان تشکیل ژل را به طور معناداری ( $p < 0.05$ ) کاهش داد. با افزایش موم کارنوبا تا ۱۰۰ درصد در نسبت ژل‌سازها، افزایش مدت زمان تشکیل ژل مشاهده گردید ( $p < 0.05$ ). این نتایج بیانگر این موضوع است که موم کارنوبا در نسبت کم می‌تواند باعث کاهش مدت زمان تشکیل ژل شود. این روند کاهش و سپس افزایش زمان



شکل ۱. رنگ اولئوژل‌های موم‌های کارنوبا و زنبور عسل در نسبت‌های مختلف در سطح ۵ درصد وزنی/وزنی

**Figure 1. The color of carnauba and beeswax oleogels, at different proportions at 5% w/w**

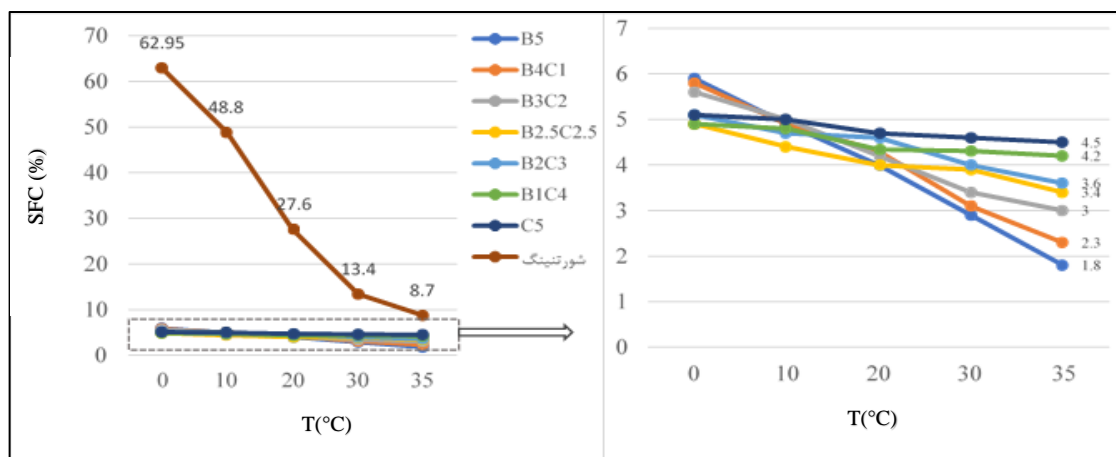
B5: ۵ درصد موم زنبور عسل؛ B4C1: ۴ درصد موم زنبور عسل و ۱ درصد موم کارنوبا؛ B3C2: ۳ درصد موم زنبور عسل و ۲ درصد موم کارنوبا؛ B2.5C2.5: ۲/۵ درصد موم زنبور عسل و ۲/۵ درصد موم کارنوبا؛ B2C3: ۲ درصد موم زنبور عسل و ۳ درصد موم کارنوبا؛ B1C4: ۱ درصد موم زنبور عسل و ۴ درصد موم کارنوبا؛ C5: ۵ درصد موم کارنوبا

در به دام انداختن روغن داشت و OBC آن  $96/49 \pm 1/05$  درصد بود. ظرفیت نگهداری روغن نشان دهنده قابلیت ساختاردهی روغن در شبکه اولئوژل‌ها و متعاقباً پایداری ژل است (Okuro et al., 2018). با توجه به مقدار بالای روغن مایع (بیشتر از ۹۰ درصد وزنی/وزنی) در ساختار اولئوژل، بسیار مهم است که اولئوژل‌ها OBC بالایی داشته باشند تا به عنوان یک محصول تجاری پایدار به کار گرفته شود

#### ظرفیت نگهداری روغن ( $OBC^{14}$ )

ظرفیت نگهداری روغن در تیمارهای مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. OBC نمونه‌های B5، B4C1، B3C2، B2.5C2.5، B2C3 و B1C4 به دلیل ایجاد شبکه ژلی پایدار بین ۹۹/۵۴ تا ۱۰۰ درصد از زیبایی شد، به نحوی که تفاوت معناداری ( $p < 0.05$ ) بین این تیمارها مشاهده نگردید. نمونه C5 نسبت به دیگر نمونه‌ها توانایی نسبتاً کمتری ( $p < 0.05$ )

(Callau et al., 2020). شکست در ساختار منجر به نشت روغن به پیرامون و در نتیجه خرابی ماتریس مواد غذایی می‌شود (Blake et al., 2018b). در پژوهشی خود گزارش کردند OBC اولئوژل‌های تهیه شده از روغن کلزا و موم زنبورعسل در غلظت‌های ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵ درصد وزنی/وزنی در دماهای ۴ و ۲۵ درجه سلسیوس، بدون توجه به این تغییرات ۱۰۰ درصد است (Gao et al., 2021). ییلماز و اگوکو (Yilmaz & Ögütçü, 2014) مشاهده کرده‌اند که OBC اولئوژل روغن زیتون و موم زنبورعسل در غلظت‌های مختلف نزدیک به ۱۰۰ درصد است. تحقیقات قبلی نشان داده است که نسبت ژل‌سازهای مختلف در اولئوژل بر OBC تأثیر می‌گذارند. برای مثال، یانگ و همکاران (Yang et al., 2020) مشاهده کردند که در اولئوژل روغن سویا به هنگام استفاده از مخلوط مونوپالمیتات<sup>۱۵</sup> و کارنوبا در غلظت ۱۰ درصد وزنی/وزنی، OBC اولئوژل نسبت به نمونه‌ای که فقط از مونوپالمیتات استفاده شده بود بیشتر است.



شکل ۲. مقدار چربی جامد اولئوژل‌ها و شورتینگ در دمای‌های مختلف

Figure 2. Solid fat content of oleogels and shortening at different temperatures

در محدوده نسبتاً مشخصی هستند و روند صعودی یا نزولی مرتبی را نشان نمی‌دهند. به عبارتی دیگر، با افزایش نسبت موم کارنوبا (در هر نسبتی در اولئوژل)، میزان زردی به طور معناداری افزایش می‌یابد و در نتیجه، بیشترین زردی متعلق به اولئوژل خالص C5 است. در منابع به این موضوع اشاره شده است که تغییر در شاخص‌های رنگی، تحت تاثیر رنگدانه‌های طبیعی موجود در موم‌هاست. موم کارنوبا نیز حاوی کارتنوئید و کلروفیل است که سبب ایجاد رنگ زرد و نارنجی می‌شود که در شاخص‌های  $a^*$  و  $b^*$  تغییر به وجود می‌آورد (Buitimea-Cantúa et al., 2021). در پژوهشی،

رنگ

جدول ۳ پارامترهای رنگ نمونه‌های اولئوژل را نشان می‌دهد. محدوده روشنایی شاخص یا  $L^*$  نمونه‌های اولئوژل در این پژوهش بین ۴۵/۵۴ تا ۵۱/۲۵ و میزان قرمزی شاخص یا همان  $a^*$  بین ۴/۹۲ تا ۶/۵۴ و میزان زردی شاخص یا به عبارتی  $b^*$  آن بین ۹/۸۴ تا ۲۷/۹۳ است. در بین اولئوژل‌ها، نمونه B5 بیشترین روشنایی و B4C1 کمترین روشنایی را داشته است. همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، نمونه‌ها به رنگ زرد تمایل دارند و شاخص  $b^*$  بیشتر از دیگر شاخص‌ها تحت تاثیر قرار گرفته است. شاخص‌های  $L^*$  و  $a^*$



رنگ زرد (b) اولئوژل‌ها با افزایش غلظت موم کارنوبا به طور معناداری افزایش یافته است، در حالی که این شاخص رنگ با افزایش غلظت موم زنبورعسل تفاوت معناداری نشان نداده است (Yi et al., 2017). به طور کلی، رنگ اولئوژل‌ها عمدتاً به رنگ روغن آفتابگردان مورد استفاده تا حدی به رنگ زل‌سازهای اضافه شده بستگی دارد.

جدول ۳. مدت زمان تشکیل ژل، ظرفیت نگهداری روغن و رنگ اولئوژل‌ها در سطح ۵ درصد وزنی/وزنی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس

Table 3. Duration of gel formation, oil binding capacity and color of oleogels at 5% w/w at 25°C

نمونه	زمان تشکیل ژل (دقیقه) Duration of gel formation (Min)	ظرفیت نگهداری روغن (درصد) Oil Binding Capacity	رنگ Color <i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>L</i> *
B5	0.24 <sup>b</sup> ±7.18	0.00 <sup>a</sup> ±100	-4.92±0.02 <sup>a</sup>	9.84±0.06 <sup>g</sup>	51.25±0.37 <sup>a</sup>
B4C1	0.05 <sup>c</sup> ±6.25	0.02 <sup>a</sup> ±99.98	-5.83±0.01 <sup>e</sup>	13.67±0.17 <sup>f</sup>	45.54±0.025 <sup>g</sup>
B3C2	0.31 <sup>c</sup> ±5.79	0.00 <sup>a</sup> ±100	-6.54±0.03 <sup>g</sup>	16.71±0.02 <sup>e</sup>	47.40±0.08 <sup>e</sup>
B2.5C2.5	0.11 <sup>d</sup> ±5.19	0.02 <sup>a</sup> ±99.94	-5.93±0.03 <sup>f</sup>	20.84±0.23 <sup>d</sup>	49.71±0.09 <sup>b</sup>
B2C3	0.37 <sup>c</sup> ±5.80	0.04 <sup>a</sup> ±99.97	-5.53±0.08 <sup>d</sup>	23.35±0.13 <sup>c</sup>	49.25±0.02 <sup>c</sup>
B1C4	0.17 <sup>b</sup> ±7.14	0.3 <sup>a</sup> ±99.54	-5.07±0.00 <sup>b</sup>	25.70±0.03 <sup>b</sup>	46.98±0.02 <sup>f</sup>
C5	0.35 <sup>a</sup> ±8.44	1.05 <sup>b</sup> ±96.49	-5.25±0.04 <sup>c</sup>	27.93±0.04 <sup>a</sup>	48.18±0.03 <sup>d</sup>

B5: ۵ درصد موم زنبورعسل؛ B4C1: ۴ درصد موم زنبورعسل و ۱ درصد موم کارنوبا؛ B3C2: ۳ درصد موم زنبور عسل و ۲ درصد موم کارنوبا؛ B2.5C2.5: ۲/۵ درصد موم زنبور عسل و ۲/۵ درصد موم کارنوبا؛ B2C3: ۲ درصد موم زنبورعسل و ۳ درصد موم کارنوبا؛ B1C4: ۱ درصد موم زنبور عسل و ۴ درصد موم کارنوبا؛ C5: ۵ درصد موم کارنوبا

میزان تغییرات SFC با افزایش دما، کمتر تحت تاثیر قرار می‌گرفت، به گونه‌ای که کمترین تغییرات متعلق به نمونه C5 است. در دمای ۳۵ درجه سلسیوس (نزدیک به دمای بدن) مشاهده می‌شود که SFC روند صعودی با افزایش موم کارنوبا دارد که می‌تواند احساس دهانی مربوط به موم را ایجاد کند. گزارش شده است که اگر این میزان نزدیک ۲ درصد یا کمتر باشد، احساس دهانی مومی ایجاد نمی‌کند (Doan et al., 2016). در پژوهشی به این نتیجه به دست آمده است که اولئوژل‌های تهیه شده از ژل‌سازهای با نقطه ذوب پایین از جمله، سدیم استئاریل لاکتات<sup>۱۶</sup>، موم سبوس برنج و موم زنبورعسل با تغییر دما از صفر تا ۷۰ درجه سلسیوس، SFC کاهش پیدا می‌کند ولی در مقابل اولئوژل هیدروکسی متیل سلولز<sup>۱۷</sup> با نقطه ذوب بالا تحت تاثیر دما قرار نمی‌گیرد (Li et al., 2021b). این بررسی‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین خاصیت اولئوژل‌ها جامد بودن حالت آنهاست

میزان چربی جامد  
منحنی SFC نشان دهنده مقدار چربی جامد نمونه در دماهای مختلف است که پارامتری مهم برای اولئوژل‌هاست. مقدار SFC بستگی مستقیم به میزان بلورهای تشکیل شده در ساختار دارد، از این رو مقادیر SFC در دمای اتاق بینشی برای فرمول‌بندی محصولات غذایی ارائه می‌دهد (Jana & Martini, 2016). شکل ۲، تغییرات SFC نمونه‌ها را در دماهای صفر تا ۳۵ درجه سلسیوس در محور Y نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲، شورتینگ بیشترین میزان چربی جامد را دارد، ولی با افزایش دما از صفر تا ۳۵ درجه سلسیوس، SFC شورتینگ از حدود ۶۳ درصد تا ۹ درصد با شیب تندی کاهش یافته است که با نتایج تحقیقات کیم و همکاران (Kim et al., 2017) همخوانی دارد. با افزایش دما، نمونه‌های اولئوژل SFC کمتری نسبت به شورتینگ نشان دادند. با این حال، با افزایش غلظت موم کارنوبا در اولئوژل،

همچنین موم آفتابگردان با موم کندلیلا (بیشترین هم‌افزایی در نسبت ۱:۹) در استحکام اولئوژل روغن سویا مشهود بوده است. این محققان به این موضوع اشاره کردند که میزان سفتی ژل‌ها به تناسب میان استرهای مومی و هیدروکربن‌های موم بستگی دارد و افزایش استحکام اولئوژل‌های مخلوط احتمالاً به دلیل مقادیر جامد بیشتر نیست، اگرچه این موضوع قطعی نیست زیرا شرایط تبلور بین نمونه‌های آماده شده برای SFC و اندازه‌گیری سفتی متفاوت است. ذکر این نکته ضروری است که نقش تفاوت اجزای موم از منابع مختلف، از جمله طول زنجیرهای متقارن و نامتقارن در استرهای مومی و همچنین تأثیر اسیدهای چرب آزاد و الکل‌های چرب آزاد، قابل چشم‌پوشی نیست و باید با دقت زیاد ارزیابی شود (Serrato-Palacios et al., 2015).

#### خواص ویسکوالاستیک

خواص ویسکوالاستیک تحت تأثیر میزان کریستالی شدن و مورفولوژی بلورها قرار دارد (Jana & Martini, 2016). شکل ۴، پارامترهای خواص ویسکوالاستیک (مدول الاستیسیته و مدول ویسکوز) را در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در فرکانس ۱-۱۰ هرتز نشان می‌دهد. مقادیر مدول الاستیسیته نشان‌دهنده رفتار جامد مانند سیستم است در حالی که مدول ویسکوز رفتار شبه مایع را نشان می‌دهد. در فرکانس ۱-۱۰ هرتز، منحنی  $G'$  و  $G''$  تقریباً خطی هستند که نشان می‌دهد مدول‌ها تقریباً مستقل از مقدار فرکانس هستند. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، در تمامی نمونه‌ها مدول  $G'$  از مدول  $G''$  بیشتر است که این موضوع رفتار ژل بودن نمونه‌ها را تایید می‌کند. ولی موضوع قابل توجه این است که مدول  $G'$  نمونه C5 کمتر از ۵۰ پاسکال است و می‌توان آن را در زمره مواد ویسکوز طبقه‌بندی کرد. بر اساس شکل ۴، بیشترین مقدار  $G'$  (حدود ۳۶۰۰۰ پاسکال) را نمونه تهیه شده با شورتینینگ نشان داده است که تاییدکننده نتایج آزمون سفتی است. در آنجا نیز بیشترین سفتی در بین نمونه‌ها متعلق به شورتینینگ است. مقدار  $G'$

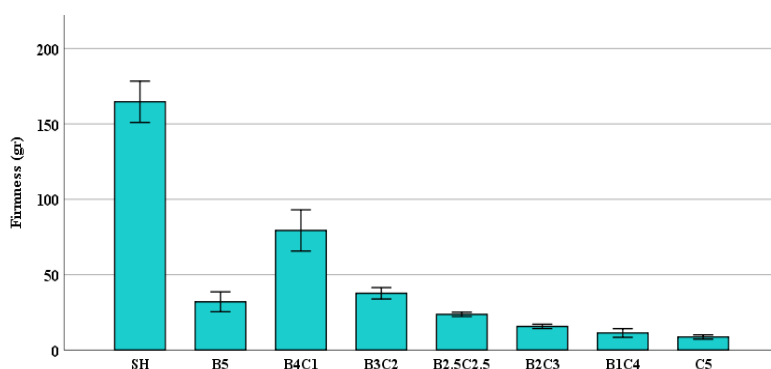
اما کاملاً از روغن‌های مایع تشکیل شده‌اند و هیچ تغییری در سطح اسیدهای چرب اشباع یا سطح ایزومرهای ترانس ایجاد نشده است (Ötütü & Yilmaz, 2015c). نتایج مشابهی در بسیاری از مطالعات دیگر نشان داده شده است (Winkler-Moser et al., 2019).

#### بافت

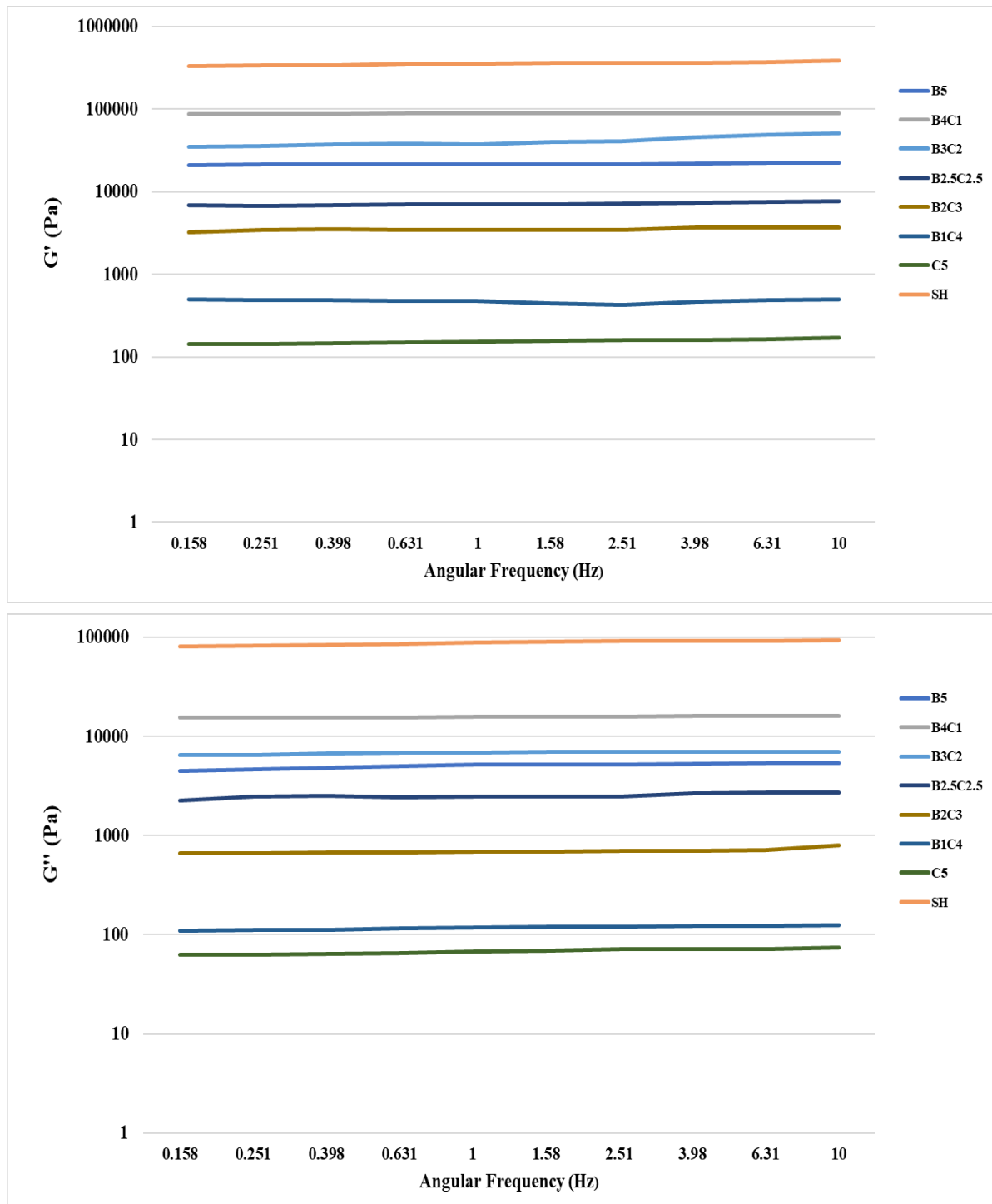
سفتی اولئوژل بر پایه موم یکی از مهم‌ترین جنبه‌ها در تعیین کاربرد اولئوژل در محصولات صنعتی (مواد غذایی، محصولات آرایشی یا دارویی) است (Imai et al., 2001). سفتی بافت نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. آنالیز آماری نشان می‌دهد تمامی نمونه‌ها به طور معناداری ( $p < 0.05$ ) با یکدیگر تفاوت دارند. کاملاً مشهود است که شورتینینگ تجاری بیشترین سفتی (۱۶۵g) را نشان داده است که نتایج به دست آمده از اکثر پژوهش‌ها در این زمینه (Jang et al., 2015; Mert & Demirkesen, 2016a; Zhao et al., 2020b) با نتایج به دست آمده از این تحقیق همخوانی دارد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که اولئوژل تهیه شده از ۵ درصد موم زنبورعسل از اولئوژل ۵ درصد موم کارنوبا به مراتب سخت‌تر ( $p < 0.05$ ) است. در بین نمونه‌های اولئوژل، اولئوژل B3C2، B4C1 بیشترین سفتی و اولئوژل C5 کمترین سفتی را نشان داده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده، جایگزینی بخشی از موم کارنوبا (۱ درصد) با موم زنبورعسل در تهیه اولئوژل، سفتی اولئوژل را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. در مطالعات کالائو و همکاران (Callau et al., 2020)، بیشترین سفتی اولئوژل در نسبت ۷ درصد بهنیل‌الکل: ۳ درصد بهنیک اسید به دست آمده است. با این حال، هنگامی که غلظت بهنیک‌اسید بیشتر از بهنیل‌الکل در مخلوط ژل‌سازها استفاده می‌شود، مقدار سفتی کمتر از اولئوژل تهیه شده از ۱۰۰ درصد خالص بهنیل‌الکل می‌شود. وینکلر و همکاران (Winkler-Moser et al., 2019) می‌گویند اثر هم‌افزایی بین مخلوط موم کندلیلا با موم زنبورعسل (بیشترین هم‌افزایی در نسبت ۲:۳) و

برای اولئوژل B5 به طور قابل توجهی بالاتر از مقدار G' برای اولئوژل C5 به دست آمده است. به عبارتی دیگر مقدار G' اولئوژل تهیه شده از ۵ درصد وزنی/وزنی موم زنبور عسل حدود ۲۲۰۰۰ پاسکال و برای ۵ درصد وزنی/وزنی موم کارنوبا حدود ۱۵۰ پاسکال است. حداکثر مقدار G' (حدود ۸۸۰۰۰ پاسکال) در بین اولئوژل‌ها در نمونه B4C1 مشاهده می‌شود، یعنی با اضافه کردن موم کارنوبا تا ۱ درصد به موم زنبور عسل، مقدار مدول الاستیسیته به طور قابل توجهی افزایش یافته و شبکه ژلی قوی‌تری نسبت به اولئوژل B5 ایجاد کرده است که اثر هم‌افزایی را در نسبت کم موم کارنوبا نشان می‌دهد. این رفتار، مشابه رفتار مشاهده شده برای داده‌های سفتی است که B4C1 بیشترین سفتی را در بین نمونه‌های اولئوژل دارد و نتایج حاصل را تأیید می‌کند. دلیل این وضعیت آن است که هر دو نشانگر قدرت نیروهای بین ذرات در ریز ساختار هستند (Winkler-Moser et al., 2019). مدول G' بالا معمولاً به وجود کریستال‌های کوچک‌تر مرتبط می‌شوند که یک شبکه همگن با ساختار خوب را تشکیل می‌دهند و دارای خواص عالی برای اتصال روغن هستند (Blake et al., 2018a). فیاض و همکاران (Fayaz

et al., 2017) از مخلوط موم زنبور عسل و بره موم در اولئوژل استفاده کردند و گزارش دادند با افزایش نسبت موم زنبور عسل به بره موم، G' در فرکانس ۱ هرتز به طور قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند ولی همچنان از اولئوژل خالص زنبور عسل کمتر است. برای اطلاعات بیشتر در مورد ماهیت چند شکلی بلورهای تشکیل دهنده این سیستم پرتو ایکس نمونه‌های اولئوژل و شورتینگ اندازه‌گیری شدند. XRD معمولاً به عنوان روشی برای تعیین چگالی استفاده می‌شود (Li et al., 2021b). هیچ برره‌ای در ۵ درصد نشان می‌دهد پیک در ناحیه WAXD  $2\theta \geq 10^\circ$  برای همه اولئوژل‌ها است، اما شورتینگ علاوه بر ناحیه WAXD، در ناحیه SAXD<sup>19</sup> نیز پیک (۸/۶ و ۱۴/۳۳ آنگستروم) داده است، سایر محققین این پیک را در مطالعه خود برای شورتینگ مشاهده کرده بودند (Ölütcü & Yilmaz, 2015b). به‌رغم تفاوت در نسبت موم‌های مورد استفاده در تهیه اولئوژل، الگوی XRD در ناحیه WAXD برای همه نمونه‌های اولئوژل بسیار شبیه به یکدیگر است.

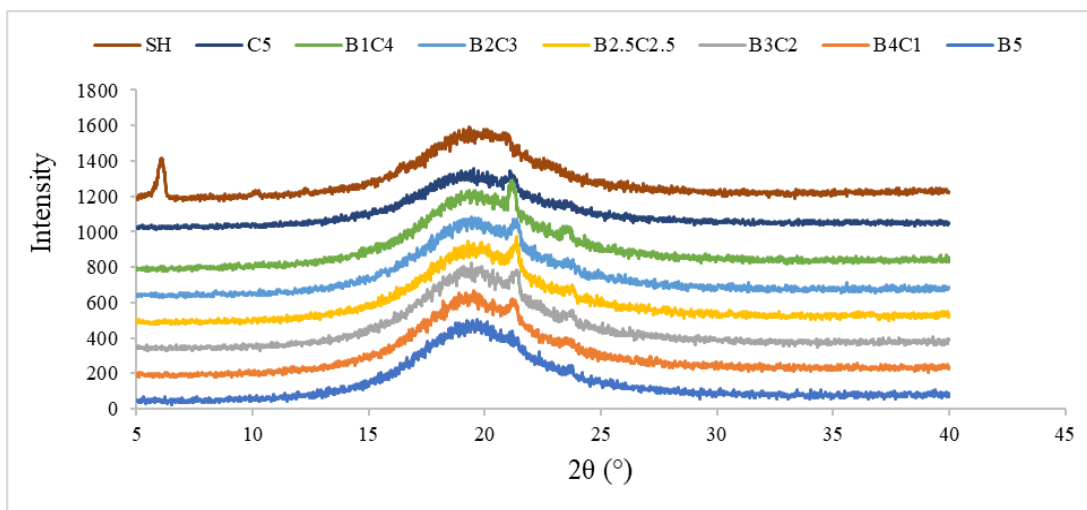


شکل ۳. نمودار سفتی شورتینگ و اولئوژل‌ها در سطح ۵ درصد وزنی/وزنی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس  
Figure 3. Shortening and oleogels firmness 5% w/w at 25° C



شکل. **Error! No text of specified style in document.** ویژگی‌های رئولوژیکی ( $G'$ ،  $G''$ ) ثبت شده در فرکانس 0/1-10 هرتز شور تنینگ و اولئوژل‌ها در سطح ۵ درصد وزنی/وزنی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس

Figure 4. Rheological properties ( $G'$ ,  $G''$ ) of shortening and oleogels at the level of 5% w/w at 25°C at 0.1-10 Hz frequency



شکل ۵. الگوی پراش پرتو ایکس شورتنینگ و اولئوژل‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس  
Figure 5. XRD of shortening and oleogels at 25°C

آنگستروم شواهدی از چند شکلی  $\beta$  است، در حالی که پیک بین حدود  $4/2-3/8$  آنگستروم حاکی از حضور چند شکلی  $\beta'$  است. بلورهای چندشکلی  $\beta$  و  $\beta'$  به ترتیب دارای ساختارهای زیر سلولی تری کلینیک<sup>۲۲</sup> (T//) و اورتورمبیک<sup>۲۳</sup> (O $\perp$ ) هستند (Zhao et al., 2020a). لازم است گفته شود تولیدکنندگان محصولات غذایی فرم  $\beta'$  را ترجیح می‌دهند، زیرا این کریستال‌ها از نظر ساختاری پایدارند و حاوی بلورهای کوچک تا متوسط هستند که منجر به تولید محصولی با بافت نرم و یکدست می‌شود. پس، می‌توان گفت اولئوژل‌های تهیه شده از موم‌ها دارای ساختار بلوری  $\beta$  و  $\beta'$  هستند. شباهت الگوی XRD اولئوژل‌های تهیه شده از موم کارنوبا و موم زنبورعسل بیشتر نیز در منابع (Ögütçü et al., 2015) آمده بود و پیک‌ها در بازه حدود  $2/49-3/74$ ،  $4/14$  تا  $4/15$  و  $4/62-4/50$  آنگستروم مشاهده شده بود که تا حدودی با نتایج به دست آمده از این پژوهش همخوانی دارد.

#### ترکیب اسیدهای چرب

در جدول ۳، پروفایل اسیدچرب شورتنینگ، روغن مایع آفتابگردان، نمونه اولئوژل‌های B5، C5 و B4C1 مشاهده

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد ماهیت چند شکلی بلورها، الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های اولئوژل و شورتنینگ نیز اندازه‌گیری شدند. XRD معمولاً به عنوان شاخص عملکرد چربی استفاده می‌شود (Li et al., 2021b). نتایج بررسی‌ها در شکل ۵ نشان می‌دهد پیک در ناحیه WAXD ( $2\theta \geq 15$ ) برای همه اولئوژل‌ها است، اما شورتنینگ علاوه بر ناحیه WAXD<sup>20</sup>، در ناحیه SAXD<sup>21</sup> نیز پیک ( $8/6$  و  $14/33$  آنگستروم) داده است، سایر محققین این پیک را در مطالعه خود برای شورتنینگ مشاهده کرده بودند (Ögütçü & Yılmaz, 2015b). به‌رغم تفاوت در نسبت موم‌های مورد استفاده در تهیه اولئوژل، الگوی XRD در ناحیه WAXD برای همه نمونه‌های اولئوژل بسیار شبیه به یکدیگر است. در مطالعات دیگر (Tavernier et al., 2017) نیز شباهت الگوی XRD در اولئوژل‌های تهیه شده از مخلوط موم‌ها مشاهده شده است. با توجه به شکل ۵، سه پیک اصلی در محدوده  $4/60$ ،  $4/18$ ،  $3/75$  آنگستروم در تمامی نمونه‌های اولئوژل مشاهده می‌شود. تغییر در موقعیت پیک‌ها نشان دهنده تغییر در رفتار چند شکلی بلورها است (Tavernier et al., 2017). پیک‌های در حدود  $4/6$

22 Triclinic  
23 Orthorhombic

20 Wide-angle X-ray Diffraction  
21 Small-angle X-ray Diffraction

می‌شود این نمونه‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مطلوب‌ترین بودند. از آنجا که از روغن پالم به طور کلی برای فرموله کردن شورتنینگ‌ها استفاده می‌شود، اسیدپالمیتیک از اسیدهای چرب غالب در پروفایل اسیدچربی شورتنینگ است (Mert & Demirkesen, 2016a). کل اسیدهای چرب اشباع و اسید چرب ترانس شورتنینگ به ترتیب در حدود ۵۱ درصد و ۴ درصد گزارش شدند. از سوی دیگر، روغن آفتابگردان حاوی حدود ۸۷ درصد اسیدچرب غیراشباع بوده است که عمدتاً از اسیدهای چرب ضروری لینولئیک (۶۴/۷۸ درصد) و اولئیک (۲۰/۹۵ درصد) تشکیل شده است. با افزودن موم‌های کارنوبا و زنبورعسل در سه درصد مختلف به روغن آفتابگردان برای تهیهٔ اولئوژل، افزایش جزئی در میزان اسیدچرب اشباع مشاهده شد. موم‌ها معمولاً به صورت استر اسیدهای چرب بلند زنجیر با الکل‌های چرب بلند زنجیر تعریف می‌شوند، اما حاوی بسیاری از مواد دیگر مانند

هیدروکربن‌های بلند زنجیر، آسید گلیسرول‌ها، استرهای استرول و غیره نیز هستند که افزایش جزئی در میزان اسیدچرب اشباع اولئوژل‌ها را به دنبال خواهد داشت (Mert & Demirkesen, 2016a). مقتدائی و همکاران (Moghtadaei et al., 2018) در مطالعات خود گزارش کردند که پروفایل اسید چرب روغن کنجد و اولئوژل‌های تهیه شده از آن با موم زنبورعسل در غلظت‌های ۵، ۷/۵، ۱۰ درصد به هم شباهت دارند و غلظت ژل‌ساز، سرعت سردکردن در هنگام تهیهٔ اولئوژل تأثیری معنادار بر پروفایل اسید چرب ندارد. با توجه به مقدار اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، اولئوژل‌ها به طور واضح دارای سطوح بالاتری از اسیدهای چرب غیراشباع در مقایسه با شورتنینگ‌ها هستند، بنابراین می‌توان آنها را به عنوان جایگزین سالم‌تری برای صنایع پخت در نظر گرفت.

جدول ۲. پروفایل اسید چرب نمونهٔ اولئوژل‌های B5، C5، B4C1، روغن و شورتنینگ  
Table 3. Fatty acid profile of B5, C5, B4C1 oleogels, oil and shortening

B4C1	C5	B5	روغن آفتابگردان Sunflower oil	شورتنینگ Shortening	اسیدچرب Fatty acid
0.06	0.04	0.07	-	0.34	C12:0
0.27	0.21	0.30	0.11	1.26	C14:0
9.22	8.82	8.63	7.42	38.92	C16:0
0.07	0.10	0.13	0.09	0.17	C16:1
0.04	0.05	0.12	0.04	0.03	C17:0
0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	C17:1
4.02	4.21	4.01	4.25	9.51	C18:0
0.11	-	0.23	-	3.12	C18:1t
21.27	20.71	20.69	20.95	33.39	C18:1c
0.26	0.14	0.36	0.05	0.97	C18:2t
62.57	63.78	62.98	64.73	11.13	C18:2c
0.99	0.89	1.97	1.01	0.66	C18:3
0.23	0.24	0.26	0.28	0.28	C20:0
0.12	0.12	0.10	0.08	0.07	C20:1
0.11	0.03	0.17	-	-	C20:2
0.44	0.48	0.62	0.68	0.08	C22:0
0.05	0.03	0.08	0.06	-	C22:1
0.13	0.12	0.15	0.23	0.05	C24:0
14.41	14.17	14.16	13.01	50.47	Total saturated fatty acid
85.59	85.83	85.84	86.99	49.53	Total unsaturated fatty acid

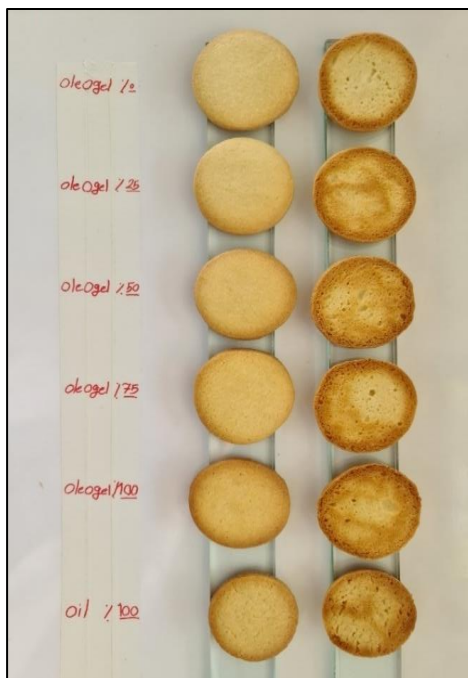
### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کوکی

سطح کوکی تیره‌تری را نشان می‌دهد. بنابراین، طبق  $L^*$  نشان داده شده در جدول ۴ کوکی‌های تهیه شده با روغن آفتابگردان رنگ تیره‌تری دارند، در مقابل نمونه کوکی‌های SH3O1، SH3O1 شاخص  $L^*$  بالاتری دارند. این نتایج با تصویر ارائه شده در شکل ۶ مطابقت دارد. با توجه به داده‌های جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت شاخص‌های  $L^*$ ،  $b^*$  و  $a^*$  در نمونه‌های کوکی با افزایش اولئوژل در فرمولاسیون کوکی به عنوان جایگزین شورتنینگ به طور معناداری ( $p < 0.05$ ) به ترتیب کاهش، افزایش و افزایش یافته است. در محصولات پخته شده، تیرگی سطحی به علت واکنش‌های میلارد و کاراملیزه شدن است. واکنش‌های میلارد شامل مجموعه پیچیده‌ای از واکنش‌ها بین قندها و گروه آمینو در اسیدهای آمینه یا پروتئین‌هاست. وقتی اسیدهای آمینه حضور ندارند، قندها می‌توانند از طریق واکنش کاراملیزه شدن باعث تیره شدن سطح شوند (Li et al., 2021b).

هدف اصلی از تولید اولئوژل‌ها، جایگزینی آنها با چربی‌هایی مانند شورتنینگ‌های تجاری با میزان اشباعیت بالا در فرآوری مواد غذایی است. بنابراین، هدف دوم این مطالعه مقایسه کوکی‌های تهیه شده با شورتنینگ تجاری، نسبت‌های مختلف شورتنینگ و نمونه اولئوژل (B4C1)، انتخاب شده از فاز اول (از نظر ویژگی‌های بافتی و پایداری اکسیداتیو و ...)، روغن مایع است.

### رنگ سطح کوکی

در شکل ۶، کوکی‌های تهیه شده از شورتنینگ، روغن و اولئوژل در نسبت‌های مختلف دیده می‌شود. با توجه به جدول ۴، محدوده شاخص  $L^*$  سطح نمونه‌های کوکی بین ۷۲/۰۵ تا ۸۰/۸۹، شاخص  $a^*$  بین ۰/۱۵ تا ۲/۵۷ و شاخص  $b^*$  بین ۲۹/۳۴ تا ۳۶/۶۰ به دست آمده است. مقدار  $L^*$  پایین‌تر،



شکل ۶. کوکی‌های تهیه شده از شورتنینگ، نسبت‌های مختلف شورتنینگ و اولئوژل B4C1 و روغن آفتابگردان  
**Figure 6. Cookies prepared using shortening, different proportions of shortening and oleogel B4C1 and sunflower oil**

SH: شورتنینگ ۱۰۰ درصد؛ SH3O1: شورتنینگ ۷۵ درصد و اولئوژل ۲۵ درصد؛ SH2O2: شورتنینگ ۵۰ درصد و اولئوژل ۵۰ درصد؛ SH3O1: شورتنینگ ۲۵ درصد و اولئوژل ۷۵ درصد؛ SW: ۱۰۰ درصد روغن آفتابگردان

### سفتی

ندارد. به عبارتی دیگر، با افزودن اولئوژل B4C1 تا ۲۵ درصد در فرمولاسیون کوکی به عنوان جایگزین شورتینینگ تفاوت معناداری ( $p < 0.05$ ) در سفتی مشاهده نشده است. با افزایش غلظت اولئوژل از سطح ۵ درصد وزنی/وزنی به سطح‌های بالاتر، امکان ۵۰ درصد جایگزینی شورتینینگ با اولئوژل وجود دارد زیرا نمونه SH2O2 (حاوی ۵۰ درصد اولئوژل) با نمونه SH3O1 (حاوی ۲۵ درصد اولئوژل) تفاوت معناداری ندارد. نکته قابل توجه این است که کوکی تهیه شده با ۱۰۰ درصد اولئوژل (O) از ۱۰۰ درصد روغن آفتابگردان (SW) سفتی به مراتب کمتری دارد. به طور کلی، جایگزینی نسبی شورتینینگ‌ها با اولئوژل‌ها ممکن است ویژگی‌های خمیر را بهبود بخشد و در نتیجه کوکی قابل قبول تری تولید کند. این روش می‌تواند روشی مناسب برای کاهش چربی اشباع شده در محصولات باشد.

سفتی نمونه‌های کوکی براساس مقدار نیروی لازم برای شکستن کوکی‌ها اندازه‌گیری و نتایج در جدول ۴ گزارش شده است. با توجه به این جدول، سفتی کوکی‌ها تقریباً برای همه نمونه‌ها متفاوت است و کوکی‌های تهیه شده با روغن مایع بسیار سخت‌تر از دیگر نمونه‌ها هستند. دلیل احتمالی آن پلیمریزاسیون گلوتن به‌هنگام ورز دادن خمیر و کافی نبودن تخلخل است. گزارش شده است که با استفاده از روغن مایع در خمیر نمی‌توان خامه قابل قبولی به‌دست آورد (Mert & Demirkesen, 2016b). علاوه بر این، گفته شده است مقدار کافی هوا می‌تواند در روغن مایع گنجانده شود، اما روغن مایع توانایی نگهداری هوا در سیستم را ندارد و در نتیجه کوکی‌هایی با بافت سفت‌تر ایجاد می‌شود (Jacob & Leelavathi, 2007). کمترین سفتی مربوط به نمونه‌های SH و SH3O1 است که تفاوت معناداری ( $p < 0.05$ ) با یکدیگر

جدول ۴. سفتی، ابعاد و رطوبت کوکی‌های تهیه شده از شورتینینگ، نسبت‌های مختلف شورتینینگ و اولئوژل و روغن آفتابگردان

Table 4. Firmness, dimensions and moisture content of cookies made from shortening, different proportions of shortening, oleogel and sunflower oil

نمونه	سفتی کوکی (بر حسب نیوتن)	عرض (میلی متر)	ضخامت (میلی متر)	گسترش پذیری	رطوبت (درصد)
SH	11.67±1.14 <sup>c</sup>	68.46±0.40 <sup>a</sup>	10.۰±0.07 <sup>a</sup>	6.84±0.09 <sup>d</sup>	3.79±0.09 <sup>a</sup>
SH3O1	13.00±0.80 <sup>de</sup>	67.65±0.49 <sup>ab</sup>	9.81±0.17 <sup>a</sup>	6.89±0.13 <sup>d</sup>	3.67±0.05 <sup>a</sup>
SH2O2	15.12±1.06 <sup>d</sup>	66.35±0.49 <sup>c</sup>	9.4±0.04 <sup>b</sup>	7.01±0.08 <sup>d</sup>	3.77±0.05 <sup>a</sup>
SH3O1	17.94±1.65 <sup>c</sup>	66.99±0.72 <sup>cb</sup>	9.24±0.1 <sup>b</sup>	7.24±0.13 <sup>c</sup>	3.31±0.05 <sup>b</sup>
O	22.89±1.54 <sup>b</sup>	66.18±0.57 <sup>c</sup>	8.86±0.19 <sup>c</sup>	7.46±0.10 <sup>b</sup>	3.26±0.05 <sup>b</sup>
SW	31.49±1.94 <sup>a</sup>	60.57±1.15 <sup>d</sup>	7.68±0.12 <sup>d</sup>	7.88±0.02 <sup>a</sup>	3.01±۰.1 <sup>c</sup>

SH: شورتینینگ ۱۰۰ درصد؛ SH3O1: شورتینینگ ۷۵ درصد و اولئوژل ۲۵ درصد؛ SH2O2: شورتینینگ ۵۰ درصد و اولئوژل ۵۰ درصد؛ SH3O1: شورتینینگ ۲۵ درصد و اولئوژل

۷۵ درصد؛ O: ۱۰۰ درصد اولئوژل؛ SW: ۱۰۰ درصد روغن آفتابگردان

### ابعاد کوکی

قطر و ضخامت) به منظور بررسی تأثیر روغن مایع، شورتینینگ و اولئوژل بر ویژگی‌های گسترش کوکی‌ها اندازه‌گیری شد. با توجه به داده‌های جدول ۴، نتایج نشان می‌دهد که کوکی‌هایی که با روغن آفتابگردان تهیه شدند نسبت به آنهایی که با شورتینینگ و اولئوژل تهیه شدند گسترش‌پذیری بالاتری دارند. نمونه‌های SH، SH3O1 و SH2O2 از نظر گسترش‌پذیری تفاوت معناداری ( $p < 0.05$ )

تشکیل فیلم قابل گسترش از آرد گندم به جای یک شبکه الاستیک منجر به ویژگی‌های ساختاری کوکی‌ها از جمله فروپاشی ماکروسکوپی می‌شود و باعث گسترش جانبی خواهد شد. بنابراین، از عامل گسترش‌پذیری به عنوان معیاری برای تعیین ویژگی‌های کیفی کوکی‌ها استفاده می‌شود (Jang et al., 2015). ابعاد نمونه‌های کوکی (شامل



با یکدیگر ندارند. چربی با میزان SFC پایین قادر به نگه داشتن حباب‌های هوا در خمیر نیست (Jacob & Leelavathi, 2007). بنابراین، تغییرات در مقادیر SFC شورتینینگ‌ها، اولئوژل و مخلوط شورتینینگ و اولئوژل ممکن است منجر به تفاوت‌های مشاهده شده در سفتی (نیروی لازم برای شکستن کوکی) و ویژگی‌های ابعادی کوکی‌ها شود. روغن‌های مایع قادر به ایجاد توده خامه‌ای مطلوب برای به‌دام انداختن مقدار کافی هوا در سیستم خمیر نیستند. بنابراین، کوکی‌هایی با ضخامت نسبتاً کم ایجاد می‌شود و از این رو مقادیر گسترش‌پذیری بیشتر و بافت سخت‌تر ایجاد خواهد شد (Mert & Demirkesen, 2016b).

مختلف موم‌ها، بیشتر از حالتی بوده است که از موم کارنوبا به عنوان تنها ژل‌ساز استفاده می‌شد. با افزایش غلظت موم کارنوبا تا ۱۰۰ درصد در اولئوژل، میزان چربی جامد و شاخص زردی افزایش پیدا کرد. سفتی نمونه‌های اولئوژل در نسبت ۴:۱ و ۳:۲ موم زنبور عسل به موم کارنوبا به ترتیب بیشترین سفتی را داشتند که نشان‌دهنده سازگاری این دو موم با یکدیگر است. به عبارتی دیگر می‌توان بدون افزایش مقدار کل موم به سفتی بیشتری دست یافت. نتایج پارامترهای ویسکوالاستیک ( $G'$  و  $G''$ ) نیز نشان داد که نسبت‌های ذکر شده اغلب رفتار شبه‌جامد دارند. پروفایل اسید چرب اولئوژل‌ها، با وجود حالت جامدمانند، دارای سطوح بالاتری از اسیدهای چرب غیراشباع مانند روغن آفتابگردان هستند. در بخش دوم، جایگزینی شورتینینگ با فرمول بهینه اولئوژل (B4C1) در تهیه کوکی ارزیابی گردید. بدین صورت که با جایگزینی ۱۰۰ درصد اولئوژل B4C1 به جای شورتینینگ، کوکی‌های نرم‌تری (در مقایسه با کوکی-های تهیه شده با روغن آفتابگردان) به دست آمد. در جایگزینی نسبی تا ۵۰ درصد با شورتینینگ نیز تفاوت چندانی در کیفیت کوکی، از جمله سفتی و گسترش‌پذیری ایجاد نشد. به طور کلی، اثر هم‌افزایی موم‌های زنبور عسل و کارنوبا این امکان را فراهم می‌کند تا بدون تاثیر قابل توجه بر خواص اولئوژل، میزان غلظت موم استفاده شده را کاهش دهد که این موضوع منجر به کاهش احساس دهانی موم می‌شود. می‌توان از اولئوژل B4C1 تا سطح ۵۰ درصد نیز به عنوان جایگزین شورتینینگ در کوکی استفاده کرد که این امر موجب کاهش اسید چرب‌اشباع در محصول می‌شود.

میزان رطوبت کوکی، برخلاف دیگر محصولات صنایع پخت از جمله نان و کیک، کم و ۱ تا ۵ درصد است (Ghotra et al., 2002). از ویژگی‌های عملکردی شورتینینگ‌ها در کوکی حفظ رطوبت است (Hwang et al., 2016). با توجه داده‌های جدول ۴، رطوبت نمونه کوکی‌ها نزدیک و در محدوده ۳/۰۱ تا ۳/۷۹ درصد است. در بین کوکی‌های تهیه شده از شورتینینگ، SH2O2 و SH3O1 اختلاف معناداری ( $p < 0.05$ ) وجود ندارد. به عبارتی دیگر، جایگزینی تا ۵۰ درصد اولئوژل B4C1، موجب حفظ رطوبت به مانند شورتینینگ شده است. در گزارش مطالعات مرت و دمیرکسن (Mert & Demirkesen, 2016b) گفته شده است مقدار رطوبت نمونه کوکی‌های تهیه شده از شورتینینگ و اولئوژل و روغن مایع تفاوت معناداری با یکدیگر ندارد.

### رطوبت کوکی

نتایج بخش اول نشان داد که ترکیب موم‌های زنبور عسل و کارنوبا در تشکیل ژل روغنی از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اثر هم‌افزایی دارند. به طور خلاصه، میزان ظرفیت نگهداری روغن به‌دست آمده در استفاده از نسبت‌های

### نتیجه گیری

نتایج بخش اول نشان داد که ترکیب موم‌های زنبور عسل و کارنوبا در تشکیل ژل روغنی از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اثر هم‌افزایی دارند. به طور خلاصه، میزان ظرفیت نگهداری روغن به‌دست آمده در استفاده از نسبت‌های

## مراجع

- Aliasl khiabani, A., Tabibiazar, M., Roufegarinejad, L., Hamishehkar, H., & Alizadeh, A. (2020). Preparation and characterization of carnauba wax/adipic acid oleogel: A new reinforced oleogel for application in cake and beef burger. *Food Chemistry*, 333, 127446. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127446>
- Blake, A. I., Toro-Vazquez, J. F., & Hwang, H.-S. (2018a). Wax oleogels. In *Edible oleogels* (pp. 133–171). Elsevier.
- Blake, A. I., Toro-Vazquez, J. F., & Hwang, H.-S. (2018b). Wax Oleogels. In *Edible Oleogels*. AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814270-7.00006-x>
- Buitimea-Cantúa, G. V., Serna-Saldívar, S. O., Pérez-Carrillo, E., Jordânia Silva, T., Barrera-Arellano, D., & Buitimea-Cantúa, N. E. (2021). Effect of quality of carnauba wax (*Copernicia cerifera*) on microstructure, textural, and rheological properties of soybean oil-based organogels. *Lwt*, 136, 110267. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110267>
- Callau, M., Sow-Kébé, K., Nicolas-Morgantini, L., & Fameau, A. L. (2020). Effect of the ratio between behenyl alcohol and behenic acid on the oleogel properties. *Journal of Colloid and Interface Science*, 560(xxxx), 874–884. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.10.111>
- da Silva, T. L. T., Arellano, D. B., & Martini, S. (2019). Interactions between candelilla wax and saturated triacylglycerols in oleogels. *Food Research International*, 121(July 2018), 900–909. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.018>
- Dassanayake, L. S. K., Kodali, D. R., Ueno, S., & Sato, K. (2009). Physical properties of rice bran wax in bulk and organogels. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(12), 1163–1173. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1464-6>
- Demirkesen, I., & Mert, B. (2020). Recent developments of oleogel utilizations in bakery products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(14), 2460–2479. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1649243>
- Devi, A., & Khatkar, B. S. (2018). Effects of fatty acids composition and microstructure properties of fats and oils on textural properties of dough and cookie quality. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 321–330. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2942-8>
- Doan, C. D., Patel, A. R., Tavernier, I., De Clercq, N., Van Raemdonck, K., Van de Walle, D., Delbaere, C., & Dewettinck, K. (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>
- Fayaz, G., Amir, S., Goli, H., Kadivar, M., Valoppi, F., & Barba, L. (2017). Pomegranate seed oil organogels structured by propolis wax, beeswax and their mixture. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(10).
- Fayaz, G., Goli, S. A. H., & Kadivar, M. (2017). A Novel Propolis Wax-Based Organogel: Effect of Oil Type on Its Formation, Crystal Structure and Thermal Properties. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(1), 47–55. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2915-5>
- Gao, Y., Li, M., Zhang, L., Wang, Z., Yu, Q., & Han, L. (2021). Preparation of rapeseed oil oleogels based on beeswax and its application in beef heart patties to replace animal fat. *Lwt*, 149(June), 111986. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111986>
- Ghotra, B. S., Dyal, S. D., & Narine, S. S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International*, 35(10), 1015–1048.
- Godoi, K. R. R. de, Basso, R. C., Ming, C. C., Silva, V. M. da, Cunha, R. L. da, Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2019a). Physicochemical and rheological properties of soybean organogels: Interactions between different structuring agents. *Food Research International*, 124(May), 108475. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.023>
- Godoi, K. R. R. de, Basso, R. C., Ming, C. C., Silva, V. M. da, Cunha, R. L. da, Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2019b). Physicochemical and rheological properties of soybean organogels:

- Interactions between different structuring agents. *Food Research International*, 124(May), 239–251. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.023>
- Hwang. (2020). A critical review on structures, health effects, oxidative stability, and sensory properties of oleogels. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101657. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101657>
- Hwang, H., Singh, M., & Lee, S. (2016). Properties of cookies made with natural wax–vegetable oil organogels. *Journal of Food Science*, 81(5), C1045–C1054.
- Hwang, Kim, S., Singh, M., Winkler-Moser, J. K., & Liu, S. X. (2012). Organogel formation of soybean oil with waxes. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(4), 639–647. <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1953-2>
- Imai, T., Nakamura, K., & Shibata, M. (2001). Relationship between the hardness of an oil-wax gel and the surface structure of the wax crystals. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 194(1–3), 233–237. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(01\)00799-3](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(01)00799-3)
- INSO. (2014). Standard of vegetable and animal oils and fats, gas chromatography of methyl esters of fatty acids, part 2: preparation of methyl esters of fatty acids (edition number 1). (*Edition Number 1*), 201, number 13126-2.
- INSO. (2017). *Standard of vegetable and animal fats and oils, Standard of vegetable and animal fats and measurement of solid fat content using pulsed nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy, part 2: indirect method (edition number 1)*. number 11487-2.
- Jacob, J., & Leelavathi, K. (2007). Effect of fat-type on cookie dough and cookie quality. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.058>
- Jana, S., & Martini, S. (2016). Physical characterization of crystalline networks formed by binary blends of waxes in soybean oil. *Food Research International*, 89, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.003>
- Jang, A., Bae, W., Hwang, H. S., Lee, H. G., & Lee, S. (2015). Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food Chemistry*, 187, 525–529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.110>
- Jung, D., Oh, I., Lee, J. H., & Lee, S. (2020). Utilization of butter and oleogel blends in sweet pan bread for saturated fat reduction: Dough rheology and baking performance. *Lwt*, 125(February), 109194. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109194>
- Kim, J. Y., Lim, J., Lee, J. H., 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>
- Li, S., Wu, G., Li, X., Jin, Q., Wang, X., & Zhang, H. (2021a). Roles of gelator type and gelation technology on texture and sensory properties of cookies prepared with oleogels. *Food Chemistry*, 356, 129667.
- Li, S., Wu, G., Li, X., Jin, Q., Wang, X., & Zhang, H. (2021b). Roles of gelator type and gelation technology on texture and sensory properties of cookies prepared with oleogels. *Food Chemistry*, 356(March), 129667. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129667>
- Mert, B., & Demirkesen, I. (2016a). 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>
- Mert, B., & Demirkesen, I. (2016b). Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product. In *Food Chemistry* (Vol. 199, Issue December). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.087>
- 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.

- Öğütçü, M., Arifoğlu, N., & Yılmaz, E. (2015). Storage stability of cod liver oil organogels formed with beeswax and carnauba wax. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(2), 404–412. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12612>
- Okuro, P. K., Tavernier, I., Bin Sintang, M. D., Skirtach, A. G., Vicente, A. A., Dewettinck, K., & Cunha, R. L. (2018). Synergistic interactions between lecithin and fruit wax in oleogel formation. *Food and Function*, 9(3), 1755–1767. <https://doi.org/10.1039/c7fo01775h>
- Öğütçü, M., & Yılmaz, E. (2015a). Characterization of Hazelnut Oil Oleogels Prepared with Sunflower and Carnauba Waxes. *International Journal of Food Properties*, 18(8), 1741–1755. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.933352>
- Öğütçü, M., & Yılmaz, E. (2015b). Characterization of Hazelnut Oil Oleogels Prepared with Sunflower and Carnauba Waxes. *International Journal of Food Properties*, 18(8), 1741–1755. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.933352>
- Öğütçü, M., & Yılmaz, E. (2015c). Comparison of the pomegranate seed oil organogels of carnauba wax and monoglyceride. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(4), 10–13. <https://doi.org/10.1002/app.41343>
- Pakseresht, S., & Mazaheri Tehrani, M. (2020). Advances in Multi-component Supramolecular Oleogels- a Review. *Food Reviews International*, 00(00), 1–23. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1742153>
- Pareyt, B., Talhaoui, F., Kerckhofs, G., Brijs, K., Goesaert, H., Wevers, M., & Delcour, J. A. (2009). The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties. *Journal of Food Engineering*, 90(3), 400–408. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.010>
- Sánchez-Becerril, M., Marangoni, A. G., Perea-Flores, M. J., Cayetano-Castro, N., Martínez-Gutiérrez, H., Andraca-Adame, J. A., & Pérez-Martínez, J. D. (2018). Characterization of the micro and nanostructure of the candelilla wax organogels crystal networks. *Food Structure*, 16(January), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.02.001>
- Serrato-Palacios, L. L., Toro-Vazquez, J. F., Dibildox-Alvarado, E., Aragón-Piña, A., Morales-Armenta, M. D. R., Ibarra-Junquera, V., & Pérez-Martínez, J. D. (2015). Phase behavior and structure of systems based on mixtures of n-hentriacontane and melissic acid. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(4), 533–540. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2623-6>
- Singh, A., Auzanneau, F. I., & Rogers, M. A. (2017). Advances in edible oleogel technologies – A decade in review. *Food Research International*, 97, 307–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.022>
- Tavernier, I., Doan, C. D., Van De Walle, D., Danthine, S., Rimaux, T., & Dewettinck, K. (2017). Sequential crystallization of high and low melting waxes to improve oil structuring in wax-based oleogels. *RSC Advances*, 7(20), 12113–12125. <https://doi.org/10.1039/c6ra27650d>
- Winkler-Moser, J. K., Anderson, J., Felker, F. C., & Hwang, H. S. (2019). Physical Properties of Beeswax, Sunflower Wax, and Candelilla Wax Mixtures and Oleogels. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(10), 1125–1142. <https://doi.org/10.1002/aocs.12280>
- Yang, S., Yang, G., Chen, X., Chen, J., & Liu, W. (2020). Interaction of monopalmitate and carnauba wax on the properties and crystallization behavior of soybean oleogel. *Grain & Oil Science and Technology*, 3(2), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.05.001>
- Yi, B. R., Kim, M. J., Lee, S. Y., & Lee, J. H. (2017). Physicochemical properties and oxidative stability of oleogels made of carnauba wax with canola oil or beeswax with grapeseed oil. *Food Science and Biotechnology*, 26(1), 79–87. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0011-8>
- Yılmaz, E., & Öğütçü, M. (2014). Comparative Analysis of Olive Oil Organogels Containing Beeswax and Sunflower Wax with Breakfast Margarine. *Journal of Food Science*, 79(9), E1732–E1738. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12561>
- Yılmaz, E., & Öğütçü, M. (2014). Properties and stability of hazelnut oil organogels with beeswax and monoglyceride. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(6), 1007–1017. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2434-1>

- Yılmaz, E., & Öğütçü, M. (2015). The texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels. *Food & Function*, 6(4), 1194–1204.
- Zhao, M., Lan, Y., Cui, L., Monono, E., Rao, J., & Chen, B. (2020a). Formation, characterization, and potential food application of rice bran wax oleogels: Expeller-pressed corn germ oil versus refined corn oil. *Food Chemistry*, 309, 125704. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125704>
- Zhao, M., Lan, Y., Cui, L., Monono, E., Rao, J., & Chen, B. (2020b). Physical properties and cookie-making performance of oleogels prepared with crude and refined soybean oil: A comparative study. *Food and Function*, 11(3), 2498–2508. <https://doi.org/10.1039/c9fo02180a>.

*Original Research*

## **Investigation of oleogel production using sunflower oil with a mixture of carnauba and beeswaxes as a replacement for solid fats (shortening) in cookie formulation**

**A.Ebrahimzadeh, M. Mazaheri Tehrani, M. Ghasemi**

**Corresponding Author:** Ferdowsi University Mashhad

**Email:** [ali.ebrahimzadeh@mail.um.ac.ir](mailto:ali.ebrahimzadeh@mail.um.ac.ir)

**Received:** 18 June 2023 **Accepted:** 13 January 2024

**http://doi:** [10.22092/fooder.2024.354397.1369](https://doi.org/10.22092/fooder.2024.354397.1369)

### **Abstract**

Due to the negative effects that saturated and trans fatty acids have on human health, replacement them with unsaturated and essential fatty acids in the diet has been considered. Recently, the new method of producing oleogel has been used as a substitute for solid food fat. The aim of this study is to investigate the interaction between two carnauba waxes and beeswax as a gelling agent at the level of 5% w/w in sunflower oil in different proportions in order to investigate the physicochemical properties of oleogels, including oil binding capacity, solid fat content, hardness and texture rheology, X-ray diffraction pattern and fatty acid profile of the samples. Also, choosing the most favorable oleogel in terms of physicochemical properties and applying it instead of shortening in different percentages as solid fat in the cookie formulation was done with the aim of reducing saturated fatty acid. The results showed that the mixture of beeswax and carnauba wax have a synergistic effect in forming an oily-gel, in terms of physical and chemical properties. The sample of oleogel prepared from the ratio of 4:1 beeswax to carnauba wax was used as the desired oleogel in the second part to replace cookie shortening. In general, this ratio made it possible to reduce the concentration of wax used without affecting the properties of the oleogel; that this led to a decrease in the mouthfeel of waxes; it can also be used up to 50% as a substitution to shortening in the preparation of cookies, which reduces the saturated fatty acid content in the final product. The results showed that the mixture of beeswax and carnauba wax have a synergistic effect in forming an oily-gel, in terms of physical and chemical properties. The sample of oleogel prepared from the ratio of 4:1 beeswax to carnauba wax was used as the desired oleogel in the second part to replace cookie shortening. In general, this ratio made it possible to reduce the concentration of wax used without affecting the properties of the oleogel; that this led to a decrease in the mouthfeel of waxes; It can also be used up to 50% as a substitution to shortening in the preparation of cookies, which reduces the saturated fatty acid content in the final product.

**Keywords:** Oleogel, Cookies, Carnauba wax, Beeswax, Synergistic effect