

## مقاله علمی - پژوهشی

# تولید و ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی شورتینگ کم‌اشباع با استفاده از تکنیک اورگانوژل‌سازی، مبتنی بر مونوآسیل گلیسرول و پلی گلیسرول استر

راحله محبوب<sup>۱</sup> - وحید حکیم‌زاده<sup>۲\*</sup> - اسماعیل عطای صالحی<sup>۳</sup> - جمشید فرمانی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

### چکیده

در این تحقیق، از تکنیک اورگانوژل‌سازی مبتنی بر مونوآسیل گلیسرول و پلی گلیسرول استر به منظور تولید شورتینگ با میزان اشباعیت پایین استفاده شده است. بدین منظور، یک گروه مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استئارین و ۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد، به طوری که درصد اسیدهای چرب اشباع در ترکیب نهایی ۲۰٪ گردید. اورگانوژل‌تورهای مورد استفاده ترکیبی از مونوآسیل گلیسرول و پلی گلیسرول استر می‌باشند که در ۶ نسبت دوتایی (۰-۱۰۰)، (۲۰-۸۰)، (۴۰-۶۰)، (۶۰-۴۰)، (۸۰-۲۰)، (۱۰۰-۰) و (۱۰۰-۰) قرار دارند. در سه غلظت ۳، ۶ و ۹ درصد (وزنی/وزنی) به ترکیب روغن اولیه افزوده شدند و خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها مانند ترکیب اسیدهای چرب، نقطه ذوب لغزشی، درصد چربی جامد، عدد پراکسید، درصد اسید چرب آزاد و همچنین خواص رئولوژیکی شامل مدول‌های ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و زاویه فاز بررسی گردیدند. نتایج نشان داد که اسیدهای چرب اشباع شده، نقطه ذوب لغزشی، محتوای چربی جامد و مقاومت اکسایشی نمونه‌ها با افزایش نسبت اولئوژل‌ها از ۳ به ۹٪ افزایش یافته است. مقادیر عدد پراکسید و اسیدهای چرب آزاد اولئوژل‌های مختلف تولید شده که به روغن افزوده شدند، تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در تمامی اولئوژل‌ها، مقادیر مدول الاستیک از مدول ویسکوز بیشتر می‌باشد که نشان می‌دهد اولئوژل‌های تولیدی دارای خواص شبه جامد بیشتری بودند. اولئوژل‌های تهیه شده با نسبت ۱۰۰ به صفر پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مدول کمپلکس بودند. نتایج بررسی زاویه فاز اولئوژل‌ها در تطابق با یافته‌های مدول الاستیک بود و نسبت‌های ۱۰۰ به صفر و ۲۰ به ۸۰ پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای مقاومت بالاتری بوده و نسبت به سایر نمونه‌ها خواص مایع گونه را دیرتر ظاهر ساختند. بررسی پتانسیل کاربردی اولئوژل‌های تولیدی مشخص نمود که آن‌ها در تولید مارگارین‌های نانوایی و شورتینگ‌های چندمنظوره مناسب می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** شورتینگ کم‌اشباع، اولئوژل، مونوآسیل گلیسرول، پلی گلیسرول استر، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، خصوصیات رئولوژیک

### مقدمه

به یکدیگر متصل می‌شوند و هنگام جویدن احساس سفتی را ایجاد می‌نمایند. اما با حضور شورتینگ، چربی اتصال بخش‌های پروتئینی و ساختار نشاسته را کم می‌کند که این عمل منجر به نرم شدن ذرات گلوتن و در نتیجه تولید محصول نرم و با قابلیت هوادهی مناسب می‌شود. همچنین شورتینگ نقطه ذوب بالاتری نسبت به کره و روغن‌های حیوانی دارد و همین امر سبب می‌شود نقطه ذوب بستنی و خامه‌ی قنادی بالاتر رود و این محصول در فصل تابستان دیرتر ذوب شود (Metzroth *et al.*, 2004). مهم‌ترین روش تولید شورتینگ‌ها در صنعت، فرآیند هیدروژناسیون بود. طبق بررسی سازمان غذا و داروی

شورتینگ<sup>۴</sup> اصطلاحی است که سابقاً برای توصیف چربی‌های جامد به واسطه‌ی خاصیت تردکنندگی در فراورده‌های آردی-تنوری به کار می‌رفت. امروزه، انواع شورتینگ‌ها با کاربردهای متنوع تولید و مصرف می‌شوند و خصوصیات کریستالی و طیف ذوبی آن‌ها می‌تواند بر ساختار، پایداری، ماندگاری و همچنین خصوصیات حسی فراورده‌های غذایی تأثیرگذار باشد (Jirasubkunakorn *et al.*, 2006). بدون شورتینگ در نان و شیرینی‌ها، گلوتن و نشاسته به صورت ذرات چسبنده

\*-نویسنده مسئول: (Email: v.hakimzadeh@yahoo.com)

DOI: 10.22067/iftstrj.v17i2.86529

4 Shortening

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.

۴- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

و اسید چرب آزاد می‌باشد و در اثر استریفیکاسیون روغن‌های گیاهی یا حیوانی با مولکول گلیسرول به‌دست می‌آید. پلی گلیسرول استرها از استریفیکاسیون پلی گلیسرول با اسیدهای چرب تولید می‌شوند. این اولئوژلاتورها غیر یونی بوده و دارای خاصیت آمفولیفیلیک می‌باشند (Gaudino et al., 2019). از کاربردهای اولئوژلاسیون می‌توان به تولید محصولات نظیر بستنی، پنیر و محصولات قنادی که در فرآیند تولیدشان از چربی‌های اشباع به‌منظور دستیابی به بافت سخت مورد نظر استفاده می‌شود، اشاره کرد که این ترکیبات قادر به فراهم کردن بافت مناسب این محصولات بدون بالا بردن محتوای اسیدهای چرب اشباع و ترانس در آن‌ها می‌باشند (Krog, 2001). Verstringe و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که با افزایش میزان مونوآسیل گلیسرول در روغن پالم، بلورینه شدن آن می‌تواند حتی در دماهای بالاتری نیز رخ دهد. علاوه بر اثری که مونوآسیل گلیسرول بر خصوصیات فیزیکی روغن‌های خوراکی می‌گذارد، تا حدودی نیز قادر به تغییر خصوصیات شیمیایی نظیر فساد اکسایشی می‌باشد که البته در این زمینه نتایج به‌دست آمده ضد و نقیض است. بر اساس نتایج Maruyama و همکاران (۲۰۱۴) در چربی‌های حاوی مونوآسیل گلیسرول رفتار بلورینه شدن چربی بستگی به نوع مونوآسیل گلیسرول به‌کار گرفته شده دارد. نوع مونوآسیل گلیسرول علاوه بر نوع بلور بر میزان بلور نیز اثر گذار است. Yilmaz و همکاران (۲۰۱۴) اولئوژل‌های روغن زیتون بکر با مونوگلیسرید و موم کارنوبا تهیه کردند. ظرفیت باند شدن با روغن در الئوژل تهیه شده با مونوگلیسرید بیشتر از اولئوژل تهیه شده با موم کارنوبا بود. تصاویر میکروسکوپ نور پلاریزه نشان داد اولئوژل موم کارنوبا کریستال‌های میله‌ای و کریستال‌های اولئوژل مونوگلیسرید بوته‌ای شکل بودند. Jang و همکاران (۲۰۱۵) اولئوژل روغن کانولا تولید شده با استفاده از موم کاندلیا را به‌عنوان جایگزین شورتینینگ در فرآورده‌های قنادی بررسی کردند. اولئوژل‌های تولید شده دارای سختی کمتری در دمای اتاق نسبت به شورتینینگ بودند. با افزایش غلظت موم به روغن، ویسکوزیته به شدت افزایش یافت. با جایگزینی اولئوژل با شورتینینگ در فرمولاسیون خمیر شیرینی، پارامترهای ویسکوالاستیک کاهش یافت. نادری و همکاران (۱۳۹۴) اثر افزودن مونوآسیل گلیسرول بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن آفتابگردان را بررسی کردند. نمونه‌های اولئوژل ساخته شده با استفاده از مونوآسیل گلیسرول، درصد اسیدهای چرب اشباع، نقطه ذوب، درصد چربی جامد، مدول ذخیره و مدول افت بالاتر و عدد یدی و زمان مقاومت به بلورینه شدن کم‌تر داشتند. اولئوژل‌های حاوی ۵ درصد مونوآسیل گلیسرول اگرچه بر مقاومت اکسایشی بی‌تأثیر بود، با این حال پس از ۱۴ روز نگهداری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد عدد پراکسید و درصد اسید چرب آزاد بالاتری داشتند. Yi و همکاران (۲۰۱۷) خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسیداتیو اولئوژل روغن کانولای تهیه شده با موم کارنوبا و اولئوژل روغن هسته انگور با موم زنبور عسل را مورد ارزیابی قرار دادند.

آمریکا مصرف محصولات حاوی روغن‌های نباتی هیدروژنه منبع عمده دریافت اسیدهای چرب ترانس (۷۹/۴٪) در رژیم غذایی هستند. از سوی دیگر، با توجه به این که مصرف اسیدهای چرب اشباع نیز یکی از ریسک فاکتورهای ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی می‌باشد، تلاش‌های گسترده‌ای در سراسر دنیا جهت کم کردن اسیدهای چرب اشباع در چربی‌های خوراکی در حال انجام است. Tarrago-Trani et al., (2006). به دلیل تشکیل اسیدهای چرب ترانس در اثر این فرایند که باعث افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی می‌شوند، از ماه ژوئن سال ۲۰۱۸، روغن‌های هیدروژنه نسبی از فهرست GRAS خارج شد. امروزه استفاده از فرایند هیدروژناسیون تنها محدود به تولید روغن‌های گیاهی کاملاً هیدروژنه (که فاقد اسیدهای چرب ترانس می‌باشند) به‌منظور استفاده از آن‌ها به‌عنوان جزء جامد در تولید مارگارین‌ها و شورتینینگ‌ها می‌باشد. با این حال، اعمال این محدودیت‌ها (حذف اسیدهای چرب ترانس) و کم کردن اسیدهای چرب اشباع بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و کاربردی چربی‌ها تأثیر فراوانی دارد. از این رو یکی از چالش‌های فعلی صنعت روغن تولید چربی‌هایی فاقد اسیدهای چرب ترانس و حاوی کم‌ترین سطح اسیدهای چرب اشباع، اما در عین حال ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و کاربردی مناسب می‌باشد. لذا امروزه از روش‌های مختلفی برای کاهش مقادیر اسیدهای چرب اشباع و ترانس در محصولات مبتنی بر چربی استفاده می‌شود. این تکنیک‌ها شامل ترکیب برخی از چربی‌ها، استری شدن و اخیراً سیستم اولئوژل است (Gaudino et al., 2019).

اورگانوژل‌ها سیستم‌های شبه جامدی هستند که بر اساس ژله‌ای شدن محلول‌های آلی توسط ترکیباتی با وزن مولکولی پایین یا درشت مولکول‌های محلول در فاز روغنی ایجاد می‌شوند. در صورتی که محلول آلی روغن خوراکی باشد به سیستم ایجاد شده اولئوژل گویند. یک اولئوژل‌ساز از به دام افتادن روغن در یک شبکه ژلی سه بعدی حاصل می‌شود. مکانیسم تشکیل شبکه ژل اولئوژل در محلول‌های آلی شباهت زیادی به هیدروژل‌ها در محلول‌های آبی دارد. در اولئوژل‌های لیپیدی برای رسیدن به ساختار ژل، پس از پراکنده شدن اولئوژل‌ساز در فاز روغنی، سول تشکیل می‌شود که با سرد کردن عمل هسته‌زایی در رشد کریستال‌ها اتفاق می‌افتد که باعث ایجاد شبکه‌های خود مونتاژکننده می‌شود. از انواع ژل‌سازهای آلی می‌توان به دی‌آسیل گلیسرول، اسیدهای چرب آزاد، هیدروکسی استئاریک اسید و مونوآسیل گلیسرول اشاره نمود (Lupi et al., 2013).

در میان ژل‌سازهای آلی، مونوآسیل گلیسرول بیشتر مورد توجه قرار دارد زیرا علاوه بر ویژگی اورگانوژل‌سازی دارای خواص مفید تغذیه‌ای مانند کاهش سطح اسیدهای چرب آزاد و تری‌آسیل گلیسرول و همچنین انسولین در خون نیز می‌باشد. مونوآسیل گلیسرول تقطیر شده شامل ۹۰ تا ۹۵ درصد ۱-مونوآسیل گلیسرول، ۳ تا ۵ درصد ۲-مونوآسیل گلیسرول، ۲ تا ۴ درصد دی‌آسیل گلیسرول و کم‌تر از ۱ درصد گلیسرول

آماده‌سازی متیل استر اسیدهای چرب طبق روش شماره AOCs 2-66-Ce و آنالیز آن‌ها با دستگاه گاز کروماتوگرافی (PerkinElmer، ۲۰۱۰، آمریکا) مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله و ستون موئینه CP Si1 88 FS با طول، قطر و ضخامت داخلی به ترتیب ۱۰۰ متر، ۰/۲۵ میلی‌متر و ۰/۲ میکرومتر بر طبق روش شماره AOCs 1e-Ce 91 انجام گردید. هلیوم به‌عنوان گاز حامل با فشار ۲۰ پاسکال (خلوص ۹۹/۹ درصد) استفاده گردید. مقدار تزریق نمونه ۱ میکرولیتر و دمای آون °C ۱۹۰ و دمای تزریق کننده و آشکارساز °C ۲۵۰ بود (نادری و همکاران، ۲۰۱۸).

### اندازه‌گیری نقطه ذوب لغزشی (SMP)<sup>۴</sup>

نقطه ذوب لغزشی به روش لوله موئین باز AOCs Cc 3-25 انجام شد (AOCs, 1996). نمونه‌ها تا °C ۱۰ بالاتر از نقطه ذوبشان مایع و سپس لوله موئین در داخل ظرف نمونه فرو برده شد تا روغن حدود ۱ سانتی‌متر از لوله موئین بالا برود. جداره بیرونی لوله موئین حاوی نمونه با پنبه پاک گردید و سریعاً در بن ماری آب یخ فرو برده شد تا روغن جامد شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۶ ساعت در دمای °C ۱ ± ۶ قرار گرفت. پس از گذشت این زمان، لوله موئین‌ها به دماسنج متصل و در یک بشر ۶۰۰ میلی‌لیتری که حاوی آب با دمای حداقل °C ۱۰ کم‌تر از نقطه ذوب احتمالی نمونه، قرار داده شد. زمانی که اولین لغزش چربی به سمت بالا در لوله موئین مشاهده گردید، به‌عنوان نقطه ذوب نمونه در نظر گرفته شد.

### اندازه‌گیری محتوای چربی جامد (SFC)<sup>۵</sup>

درصد محتوای چربی جامد نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رزونانس مغناطیس هسته‌ای متناوب<sup>۵</sup> (Minispec- mq20، آلمان) طبق روش مستقیم AOCs 16b-93 اندازه‌گیری شد (AOCs, 1996). نمونه‌ها در دمای °C ۱۰۰ ذوب شد و قبل از اولین اندازه‌گیری به مدت ۶۰ دقیقه در حمام یخ (صفر درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و در دمای صفر درجه سانتی‌گراد میزان چربی جامد نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بعد از آن هر یک از نمونه‌ها به‌طور مجزا به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس اندازه‌گیری میزان چربی جامد بر روی هر کدام از نمونه‌ها در دماهای مورد نظر انجام شد.

### آزمون رنسیمت

زمان مقاومت اکسایشی (دوره القای اکسایش) با استفاده از دستگاه Rancimat Methrom مدل ۷۴۳ اندازه‌گیری شد. ۲/۵ گرم نمونه در

با افزایش غلظت موم‌ها از ۵ تا ۱۵ درصد آنتالپی کریستالیزاسیون و نقطه ذوب افزایش یافت. شاخص‌های رنگی نیز تغییرات معنی‌داری کرد. پایداری اکسیداتیو اولئوژل موم کارنوبا بیشتر از اولئوژل موم زنبور عسل نمونه شاهد بود.

با توجه به اثر مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استرها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پایداری روغن‌ها، در پژوهش حاضر به بررسی امکان تولید شورتینگ‌های بدون ترانس با استفاده از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر به‌عنوان امولسیفایر ساختار دهنده در ترکیب روغن پالم استتارین و روغن کلزا که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است، پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

روغن کلزا تصفیه شده و روغن پالم استتارین از شرکت پرتودانه خزر (بهشهر، مازندران، ایران) تهیه شد. مونوآسیل گلیسرول تقطیر شده و پلی‌گلیسرول استر با خلوص ۹۵٪ از شرکت Sunilia (تهران، ایران) و مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

### آماده‌سازی اولئوژل‌ها

در ابتدا، یک مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استتارین و ۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد. انتخاب نسبت روغن‌ها براساس ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های اولیه انجام شد، به‌طوری‌که، در ترکیب نهایی بعد از فرمولاسیون روغن‌ها درصد اسیدهای چرب اشباع از ۲۰٪ تجاوز نکند. اورگانوژلاتورهای مورد استفاده در این پژوهش شامل ترکیب مونوآسیل گلیسرول<sup>۱</sup> (MAG) و پلی‌گلیسرول استر<sup>۲</sup> (PGE) بودند که در ۶ نسبت دوتایی (۰-۱۰۰)، (۲۰-۸۰)، (۴۰-۶۰)، (۶۰-۴۰)، (۸۰-۲۰) و (۱۰۰-۰) ترکیب شدند.

برای تهیه اولئوژل، ابتدا ترکیب روغن پالم استتارین و روغن کلزا با نسبت ۸۰ به ۲۰، تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و سپس، مخلوط دوتایی اولئوژلاتور (PGE:MAG) در غلظت‌های ۳، ۶ و ۹ درصد (وزنی/وزنی) و در نسبت‌های فوق‌الذکر، به آن اضافه شدند. اولئوژل‌های آماده شده به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه هم‌زده شدند. سرانجام، چربی‌های مبتنی بر PGE: MAG تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد سرد شده و برای استفاده‌های بعدی در یخچال نگهداری شدند (نادری و همکاران، ۲۰۱۸).

### آنالیز ترکیب اسیدهای چرب با کروماتوگرافی گازی

4 Solid Fat Content (SFC)

5 Pulsed Nuclear Magnetic Resonance (PNMR)

1 Monoacylglycerols (MAG)

2 Polyglycerol ester (PGE)

3 Slip Melting Point (SMP)

حسب اولئیک) آن با محلول سود ۰/۱ نرمال در حضور فنل فتالئین تیترا شد و محاسبه گردید.

### تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی

این آزمون‌ها با استفاده از دستگاه رئومتر (آنتون پار-تریشر) در تنش و کرنش یکسان و تغییر دما از دمای ۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور مشاهده خصوصیات ویسکوالاستیک (مدول افت (G'')، مدول ذخیره (G') و زاویه فاز (G\*)) انجام شد (نادری و همکاران، ۲۰۱۶).

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام و نتایج آن‌ها به‌صورت میانگین همراه با انحراف معیار گزارش شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون آنالیز واریانس یک طرفه در سطح اطمینان  $p < 0.05$  و با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 (شیکاگو، آمریکا) انجام شد.

### نتایج و بحث

#### خواص فیزیکوشیمیایی

#### پروفایل اسیدهای چرب

ترکیب اسیدهای چرب موجود روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا (با نسبت ۲۰ به ۸۰) و اولئوژل‌های تولیدی در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اسید چرب غالب در روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا (با نسبت ۲۰ به ۸۰)، اولئیک اسید و در اولئوژلاتورها، پالمیتیک اسید می‌باشد.

در جدول ۲ ترکیب اسیدهای چرب اولئوژل روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف از پلی‌گلیسرول استر و مونواسیل گلیسرول ذکر شده است. نتایج ارزیابی آماری حاکی از آن است که ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی / وزنی) تفاوت معنی‌داری با هم دارند ( $P < 0.05$ ). با این‌حال، نسبت MAG به PGE تأثیری بر ترکیب اسیدهای چرب نداشته است ( $P > 0.05$ ).

دمای 110°C، با سرعت جریان هوای ۲ میلی‌لیتر در دقیقه به روش AOCs cd 12b-92 مورد آزمایش قرار گرفت (AOCS, 1996).

ظرف شیشه‌ای مابین آزمایش‌ها به‌خوبی تمیز می‌شدند تا از هر گونه آلودگی که منجر به پیش اکسیداسیون روغن شود، جلوگیری شود. لوله‌ها با جوشانده شدن در محلول سدیم هیدروکسید ۲٪ به مدت یک ساعت و سپس سرد شدن و فرو بردن در محلول هیدروکلریدریک اسید و در پایان شستن با آب مقطر، تمیز شدند. لوله‌ها، الکترودها و اتصالات چندین بار با اتانول و آب مقطر شسته و قبل از انجام آزمایش گاز نیتروژن بر آن‌ها دمیده شد.

#### اندازه‌گیری عدد پراکسید

مقدار پراکسید با استفاده از روش AOCs CD 8-23 اندازه‌گیری شد (AOCS, 1996). ۵ گرم از نمونه روغن را در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری وزن نموده و ۲۵ میلی‌لیتر حلال پراکسید (۳ حجم اسید استیک + ۲ حجم کلروفرم) و ۱ میلی‌لیتر محلول یدور پتاسیم اشباع به آن اضافه شد. مخلوط به‌مدت ۱ دقیقه در جای تاریک قرار داده و گاه‌گاهی به‌هم زده شد. سپس به آن ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر معرف چسب نشاسته اضافه گردید. سپس با محلول تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تا از بین رفتن رنگ آبی تیترا شد. آزمایش شاهد (بدون نمونه) نیز انجام گردید.

#### تعیین درصد اسیدهای چرب آزاد (FFA)

اسیدهای چرب آزاد مطابق با روش AOCs Ca 5a-40، اندازه‌گیری شد (AOCS, 1996). مقدار ۲۸/۲ گرم از نمونه توزین شده و ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد و ۲ میلی‌لیتر معرف فنل فتالئین (محلول یک درصد وزنی- حجمی در اتانول ۹۵ درصد) اضافه شد. لازم به ذکر است که اتانول مصرفی قبلاً در حضور فنل فتالئین باسود ۰/۱ نرمال تا ایجاد رنگ صورتی کم‌رنگ خنثی گردید و اسیدهای چرب آزاد (بر

جدول ۱- ترکیب درصد اسیدهای چرب روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا و اولئوژلاتورهای مورد استفاده

نوع روغن یا الئوژلاتور	SFA%	C18:3%	C18:2%	C18:1%	C18:0%	C16:0%
PS20: R80	۱۸/۹۸	۶/۵۳	۱۹/۸۵	۵۱/۹۴	۳/۱۳	۱۵/۸۵
PGE	۹۶/۹	-	-	۰/۲۳	۳۶/۸	۶۰/۱
MAG	۹۶/۸	-	-	۰/۷	۳۹/۶	۵۷/۲

PS20: R80: مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استتارین و کلزا؛ PGE: پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونواسیل گلیسرول

C16:0: پالمیتیک اسید؛ C18:0: استتاریک اسید؛ C18:1: اولئیک اسید؛ C18:2: لینولئیک اسید؛ C18:3: لینولینیک اسید. SFA: اسیدهای چرب

اشباع

( $P < 0.05$ ). در این خصوص، مقادیر اولئیک اسید از ۵۰٪ در سطح ۳٪ به ۴۷٪ در سطح ۹٪ کاهش یافت. همچنین، با افزایش سطح اولئوئلاتور در روغن از ۳ به ۹٪ (وزنی / وزنی)، درصد استتاریک اسید و پالمیتیک اسید افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش سطح اولئوئلاتور از ۳ به ۹٪ در روغن، SFA افزایش نشان داد ( $P < 0.05$ ).

به عبارت دیگر، با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول و همچنین کاهش نسبت پلی گلیسرول استر در اولئوئلاتورها، ترکیب اسیدهای چرب تفاوت معنی‌داری نشان نداد ( $P > 0.05$ ). دیگر نتایج حاکی از آن است که با افزایش سطح اولئوئلاتور در روغن از ۳ به ۶٪ و از ۶ به ۹٪ (وزنی / وزنی) ترکیب اسیدهای چرب تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد.

جدول ۲- ترکیب درصد اسیدهای چرب اولئوئول روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

تیما	سطح اولئوئول (وزنی / وزنی)	PGE	MAG	C16:0%	C18:0%	C18:1%	C18:2%	C18:3%	%SFA
۱	۱۰۰	۰	۱۷/۲±۰/۱ <sup>c</sup>	۴/۱±۰/۱ <sup>c</sup>	۵۰/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۲۵±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۲۲±۰/۱ <sup>c</sup>	
۲	۸۰	۲۰	۱۷/۲±۰/۱ <sup>c</sup>	۴/۱±۰/۱ <sup>c</sup>	۵۰/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۲۵±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۲۲±۰/۱ <sup>c</sup>	
۳	۶۰	۴۰	۱۷/۲±۰/۱ <sup>c</sup>	۴/۱±۰/۱ <sup>c</sup>	۵۰/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۲۵±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۲۲±۰/۱ <sup>c</sup>	
۴	۴۰	۶۰	۱۷/۲±۰/۱ <sup>c</sup>	۴/۱±۰/۱ <sup>c</sup>	۵۰/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۲۵±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۲۲±۰/۱ <sup>c</sup>	
۵	۲۰	۸۰	۱۷/۲±۰/۱ <sup>c</sup>	۴/۲±۰/۱ <sup>c</sup>	۵۰/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۲۵±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۲۲±۰/۱ <sup>c</sup>	
۶	۰	۱۰۰	۱۷/۲±۰/۱ <sup>c</sup>	۴/۲±۰/۱ <sup>c</sup>	۵۰/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۲۵±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۲۲±۰/۱ <sup>c</sup>	
۷	۱۰۰	۰	۱۸/۵±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۴۸/۸±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۶±۰/۱ <sup>ab</sup>	۶/۱۳±۰/۱ <sup>ab</sup>	۲۴/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	
۸	۸۰	۲۰	۱۸/۵±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۴۸/۸±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۶±۰/۱ <sup>ab</sup>	۶/۱۳±۰/۱ <sup>ab</sup>	۲۴/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	
۹	۶۰	۴۰	۱۸/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۴۸/۸±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۶±۰/۱ <sup>ab</sup>	۶/۱۳±۰/۱ <sup>ab</sup>	۲۴/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	
۱۰	۴۰	۶۰	۱۸/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۴۸/۸±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۶±۰/۱ <sup>ab</sup>	۶/۱۳±۰/۱ <sup>ab</sup>	۲۴/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	
۱۱	۲۰	۸۰	۱۸/۳±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۴۸/۸±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۶±۰/۱ <sup>ab</sup>	۶/۱۳±۰/۱ <sup>ab</sup>	۲۴/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	
۱۲	۰	۱۰۰	۱۸/۳±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۳±۰/۱ <sup>b</sup>	۴۸/۸±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۶±۰/۱ <sup>ab</sup>	۶/۱۳±۰/۱ <sup>ab</sup>	۲۴/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	
۱۳	۱۰۰	۰	۱۹/۸±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۲±۰/۱ <sup>a</sup>	۴۷/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۰۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۹±۰/۱ <sup>b</sup>	۲۶/۸±۰/۱ <sup>a</sup>	
۱۴	۸۰	۲۰	۱۹/۸±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۲±۰/۱ <sup>a</sup>	۴۷/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۰۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۹±۰/۱ <sup>b</sup>	۲۶/۸±۰/۱ <sup>a</sup>	
۱۵	۶۰	۴۰	۱۹/۷±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۲±۰/۱ <sup>a</sup>	۴۷/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۰۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۹±۰/۱ <sup>b</sup>	۲۶/۸±۰/۱ <sup>a</sup>	
۱۶	۴۰	۶۰	۱۹/۷±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۲±۰/۱ <sup>a</sup>	۴۷/۲±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۰۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۹±۰/۱ <sup>b</sup>	۲۶/۸±۰/۱ <sup>a</sup>	
۱۷	۲۰	۸۰	۱۹/۶±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۳±۰/۱ <sup>a</sup>	۴۷/۳±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۰۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۹±۰/۱ <sup>b</sup>	۲۶/۸±۰/۱ <sup>a</sup>	
۱۸	۰	۱۰۰	۱۹/۵±۰/۱ <sup>a</sup>	۶/۴±۰/۱ <sup>a</sup>	۴۷/۳±۰/۱ <sup>b</sup>	۱۸/۰۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۵/۹±۰/۱ <sup>b</sup>	۲۶/۸±۰/۱ <sup>a</sup>	

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح  $P < 0.05$  می‌باشد. PGE: پلی گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول؛ C16:0: پالمیتیک اسید؛ C18:0: استتاریک اسید؛ C18:1: اولئیک اسید؛ C18:2: لینولئیک اسید؛ C18:3: لینولنیک اسید، SFA: اسیدهای چرب اشباع.

دارای نقطه ذوب مشخص و تیزی می‌باشند. این تکنیک روش معمول برای تعیین نقطه ذوب چربی‌ها است. نقطه پایانی در این تکنیک به صورت عینی قابل تعیین می‌باشد (O'Brien, 2004). نتایج نقطه ذوب لغزشی اولئوئول روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا مخلوط‌شده با

### ویژگی‌های فیزیکی

#### نقطه ذوب لغزشی (SMP)<sup>۱</sup>

نقطه ذوب دمایی است که در آن تغییر حالت ماده از جامد به مایع اتفاق می‌افتد. این پارامتر از ویژگی‌های بسیار مهم فیزیکی چربی‌ها است. چربی‌های طبیعی نقطه ذوب دقیقی ندارند، در حالی که مواد خالص

1 Slip Meltig Point

نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳- نقطه‌ی ذوب اولئوژل روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

نقطه ذوب (°C)	MAG	PGE	سطح اولئوژل (وزنی/وزنی)	تیمار
۳۹/۵±۰/۶ <sup>f</sup>	-	-	-	PS20: R80 (شاهد)
۴۰±۰/۶ <sup>ef</sup>	۰	۱۰۰		۱
۴۰±۰/۶ <sup>ef</sup>	۲۰	۸۰		۲
۴۰±۰/۶ <sup>ef</sup>	۴۰	۶۰		۳
۴۰±۰/۶ <sup>ef</sup>	۶۰	۴۰	۳ درصد	۴
۴۰±۰/۶ <sup>ef</sup>	۸۰	۲۰		۵
۴۰±۰/۶ <sup>ef</sup>	۱۰۰	۰		۶
۴۰±۰/۶ <sup>ef</sup>	۰	۱۰۰		۷
۴۰/۵±۰/۶ <sup>de</sup>	۲۰	۸۰		۸
۴۰/۵±۰/۶ <sup>de</sup>	۴۰	۶۰	۶ درصد	۹
۴۰/۵±۰/۶ <sup>de</sup>	۶۰	۴۰		۱۰
۴۱±۰/۶ <sup>cd</sup>	۸۰	۲۰		۱۱
۴۲±۰/۶ <sup>b</sup>	۱۰۰	۰		۱۲
۴۰±۰/۶ <sup>ef</sup>	۰	۱۰۰		۱۳
۴۱±۰/۶ <sup>cd</sup>	۲۰	۸۰		۱۴
۴۱±۰/۶ <sup>c</sup>	۴۰	۶۰	۹ درصد	۱۵
۴۱±۰/۶ <sup>c</sup>	۶۰	۴۰		۱۶
۴۲±۰/۶ <sup>b</sup>	۸۰	۲۰		۱۷
۴۳±۰/۶ <sup>a</sup>	۱۰۰	۰		۱۸

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح  $P < 0.05$  می‌باشد. PS20: R80 مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استتارین و کلزا. PGE؛ پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول.

به  $43^{\circ}\text{C}$  افزایش یافت. این روند برای اولئوژل‌های تولید شده در سطح ۹ درصد وزنی/وزنی نیز مشاهده شد و با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور نقطه ذوب لغزشی نمونه‌ها از  $40^{\circ}\text{C}$  به  $43^{\circ}\text{C}$  رسید. یافته‌های مشاهده شده در این بخش می‌تواند به ساختار شیمیایی متفاوت اولئوژلاتورهای مورد استفاده نسبت داده شود. در این خصوص، شایان ذکر است که مونوآسیل گلیسرول از یک مولکول گلیسرول که دارای پیوند استری با یک مولکول اسید چرب است تشکیل شده و همچنین دارای ۲ گروه هیدروکسیلی آزاد (OH) می‌باشد. سوربیتان مونواسترات و سوربیتان تری‌استرات به جای الکل گلیسرول (در مونوآسیل گلیسرول) دارای ترکیب الکی دیگری به نام سوربیتول (قند-الکل) هستند؛ با این تفاوت که در اولی همانند

نتایج ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان سطوح مختلف افزوده شده اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/وزنی) به روغن از نظر نقطه ذوب تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود ( $P < 0.05$ ). همچنین، تفاوت معنی‌داری در نقطه ذوب در سطوح یکسان افزوده شده اولئوژلاتور به روغن (به غیر از سطح ۳ درصد) مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). در این خصوص، اگرچه با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور از صفر به ۱۰۰ در سطح ۳ درصد، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید و نقطه ذوب تمامی اولئوژل‌های تولیدی  $40^{\circ}\text{C}$  بود، اما در سطوح ۶ و ۹ درصد (وزنی/وزنی) افزوده شده به روغن، چنین اثری مشاهده نشد. شایان ذکر است که در سطح ۶ درصد (وزنی/وزنی)، با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول از صفر به ۱۰۰ نقطه ذوب اولئوژل‌ها از  $40^{\circ}\text{C}$

مونوآسیل گلیسرول از صفر به ۱۰۰ در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور در هر سطح و هر دما، درصد SFC افزایش یافت. نکته قابل توجه آن است که با افزایش سطح اولئوژلاتور افزوده شده به روغن از ۳ به ۹ درصد (وزنی/وزنی)، درصد SFC اولئوژل‌ها در هر دمای ثابت افزایش بیشتری نشان داد. بدیهی است که با تغییرات دما از ۱۰ تا ۳۵°C، در اثر افزایش دما، درصد SFC اولئوژل‌ها کاهش یابد.

همان‌طور که در ارائه نتایج عنوان گردید، با افزایش سطح اولئوژلاتور در روغن از ۳ به ۹ درصد وزنی/وزنی، مقادیر درصد SFC افزایش می‌یابد. افزایش درصد SFC به منزله مقادیر بیشتر کریستال‌های چربی (تراکم بیشتر کریستال‌های چربی) در هر دمای خاص است. همان‌طور که قبل‌تر در بررسی نتایج نقطه ذوب لغزشی نمونه‌ها عنوان گردید، اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول دارای نقطه ذوب بالا هستند. همین روند در مقادیر درصد SFC اولئوژل‌های مذکور نیز دیده می‌شود. به عبارتی، با افزایش نقطه ذوب نمونه‌های اولئوژل، کریستال‌های چربی مقاومت بیشتری نسبت به افزایش دما نشان داده و به دنبال آن، مقادیر درصد SFC افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر، گروه‌های هیدروکسیلی بیشتر در مونوآسیل گلیسرول منجر به افزایش مقاومت حرارتی بیشتر خواهند شد. صابری و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند روغن‌های بر پایه مونو و دی‌آسیل گلیسرول دارای درصد SFC کمتر از روغن‌های تری‌آسیل گلیسرول در دماهای ۵ تا ۱۰°C و درصد SFC بالاتر در دماهای بالاتر از ۲۰°C نشان می‌دهند. همچنین منحنی درصد SFC روغن‌های بر پایه مونو و دی‌آسیل گلیسرول دارای شیب کم‌تر و مسطح‌تر است که نشان‌دهنده یکنواختی ساختار آن در دماهای متفاوت بوده که به همین دلیل برای تولید مارگارین و شورتینگ مناسب می‌باشد. شایان ذکر است، تغییرات در فرایند کریستالیزاسیون اولئوژل‌ها کاملاً وابسته به درصد SFC می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم در مرحله تشکیل هسته‌های بلور در فرایند کریستالیزاسیون، زمان مقاومت به کریستالیزاسیون می‌باشد. زمان مقاومت، مدت زمانی است که طی آن هسته‌های اولیه بلور در یک سیستم چربی تشکیل گردد. زمان مقاومت به بلورینه شدن دارای رابطه عکس با سرعت هسته‌زایی می‌باشد. Martini و همکاران (۲۰۰۲) به اندازه‌گیری درصد SFC روغن پالمی که ابتدا به خامه اضافه و سپس از آن جدا شده بود پرداختند و نتایج نشان داد مونواستارین و مونوپالمیتین منجر به افزایش نهایی درصد SFC در غلظت ۱ درصد (وزنی/وزنی) در این روغن می‌گردند که در تطابق با یافته‌های پژوهش حاضر بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که اثری که مونوآسیل گلیسرول می‌تواند بر روغن‌ها بگذارد به غلظتشان وابسته است. Basso و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی اثر (مونواستارین و مونوپالمیتین) که از روغن پالم کاملاً هیدروژنه به دست آمده بود،

مونوآسیل گلیسرول ۲ و در دومی هیچ گروه هیدروکسیلی آزادی وجود ندارد. همین امر نقطه عطفی است تا باعث تغییر در خواص عملکردی این ترکیبات گردد. در این زمینه، صابری و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمودند که گروه‌های هیدروکسیلی آزاد منجر به افزایش نقطه ذوب مولکول خواهد شد. به همین خاطر است که ترکیبات مونو و دی‌گلیسریدی نسبت به تری‌گلیسریدی دارای نقطه ذوب بالاتری هستند. یافته‌های به دست آمده در پژوهش حاضر نیز می‌تواند به همین امر نسبت داده شود. به عبارت دیگر، حضور بیشتر عوامل هیدروکسیلی آزاد در مونوآسیل گلیسرول و همچنین قطبیت بیشتر مولکول گلیسرول نسبت به سوربیتول باعث خواهد شد تا نقطه ذوب اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول از اولئوژل‌های بر پایه سوربیتان مونواستارات و سوربیتان تری‌استارات بیشتر باشد. از سوی دیگر، اولئوژل‌های بر پایه سوربیتان مونواستارات دارای نقطه ذوب بالاتری نسبت به سوربیتان تری‌استارات هستند، که این مطلب همان‌طور که قبل‌تر ذکر گردید، به حضور گروه هیدروکسیلی آزاد در ساختار سوربیتان مونواستارات مربوط است. نتایج به دست آمده در تطابق با یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۶) که به بررسی اثر مونوآسیل گلیسرول بر چربی مرغ پرداختند بود. Perneti و همکاران (۲۰۰۷) که به بررسی اثر ژل‌سازی هم‌زمان سوربیتان مونواستارات و لسیترین پرداختند، نیز نتایجی مشابه گزارش نمودند. آنان بیان نمودند که این ترکیبات با نقطه ذوب ۴۰°C قادر به تشکیل شبکه ژلی در روغن‌ها بوده و افزودن لسیترین و سوربیتان مونواستارات با نسبت وزنی ۴۰ به ۶۰ و ۶۰ به ۴۰ باعث افزایش نقطه ذوب نمونه‌ها می‌گردد.

### محتوای چربی جامد<sup>۱</sup> (SFC)

درصد SFC بیان‌گر مقدار کریستال‌های چربی درون مخلوط روغن‌ها و چربی‌ها در دماهای مختلف است. این شاخصه مسئول بسیاری از ویژگی‌های محصول از جمله ظاهر عمومی، سهولت بسته‌بندی، خواص حسی و خصوصیات عملکردی روغن‌ها می‌باشد. در جدول ۴ نتایج درصد SFC در دمای ۱۰ تا ۳۵°C اولئوژل‌های روغن ترکیبی پالم استارین و کلزا مخلوط شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول ذکر شده است. نتایج ارزیابی آماری نشان می‌دهد که درصد SFC نمونه‌های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/وزنی) با هم تفاوت معنی‌داری داشتند ( $P < 0.05$ ). همچنین، تفاوت معنی‌داری در سطوح یکسان افزوده شده اولئوژلاتور به روغن برای درصد SFC مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). شایان ذکر است که اثر دما نیز بر مقادیر درصد SFC معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). در این خصوص، با افزایش دما از ۱۰ به ۳۵°C، مقادیر درصد SFC کاهش یافت. دیگر نتایج حاکی از آن است که با افزایش نسبت

Verstringe و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تأثیر مونوپالمیتین بر روی رفتار بلورینه شدن روغن پالم پرداختند گزارش نمودند که با افزایش غلظت مونوآسیل گلیسرول، دمای کریستالیزاسیون افزایش یافته و به عبارتی در دمای بالاتری کریستالیزاسیون رخ می‌دهد. یافته‌های محققان فوق در تطابق با نتایج پژوهش حاضر بود.

پرداختند. در این بررسی از مونوآسیل گلیسرول به منظور اصلاح فرایند کریستالیزاسیون روغن پالم استفاده شد که مشخص گردید این اولئوژلاتور قادر به کاهش زمان مقاومت به بلورینه شدن روغن پالم به طور معنی‌داری می‌گردد. همچنین آن‌ها قادر به تغییر رفتار پلی‌مورفیسم و ایجاد بلورهای بتا به جای بتا پریم هستند که به نوبه خود باعث کاهش هزینه فرآیند در محصولات نظیر شکلات می‌گردد.

جدول ۴- محتوای چربی جامد (SFC%) اولئوژل روغن ترکیبی پالم استارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول در دماهای مختلف

تیمار	سطح (وزنی/وزنی)	اولئوژل	PGE	MAG	۱۰ °C	۲۰ °C	۳۰ °C	۳۵ °C
شاهد (PSC)	-	-	-	-	۱۲/۴±۰/۲ <sup>Fa</sup>	۱۰/۸±۰/۲ <sup>Fb</sup>	۷/۳±۰/۲ <sup>Gc</sup>	۴/۷±۰/۲ <sup>Fd</sup>
۱			۱۰۰	۰	۱۲/۴±۰/۲ <sup>Fa</sup>	۱۰/۸±۰/۲ <sup>Fb</sup>	۷/۳±۰/۲ <sup>Gc</sup>	۴/۸±۰/۲ <sup>Fd</sup>
۲			۸۰	۲۰	۱۳/۳±۰/۲ <sup>Ea</sup>	۱۱/۶±۰/۲ <sup>Eb</sup>	۸/۳±۰/۲ <sup>Fc</sup>	۵/۶±۰/۲ <sup>Ed</sup>
۳			۶۰	۴۰	۱۴/۳±۰/۲ <sup>Da</sup>	۱۲/۳±۰/۲ <sup>Db</sup>	۹/۴±۰/۲ <sup>Ec</sup>	۶/۴±۰/۲ <sup>Dd</sup>
۴	۳ درصد		۴۰	۶۰	۱۵/۲±۰/۲ <sup>Ca</sup>	۱۲/۸±۰/۲ <sup>Db</sup>	۱۰/۱±۰/۲ <sup>Dc</sup>	۷/۵±۰/۲ <sup>Cd</sup>
۵			۲۰	۸۰	۱۵/۹±۰/۲ <sup>Ca</sup>	۱۳/۲±۰/۲ <sup>Cb</sup>	۱۰/۵±۰/۲ <sup>Dc</sup>	۸/۲±۰/۲ <sup>Cd</sup>
۶			۰	۱۰۰	۱۶/۳±۰/۲ <sup>Ca</sup>	۱۳/۷±۰/۲ <sup>Cb</sup>	۱۱/۱±۰/۲ <sup>Bc</sup>	۸/۷±۰/۲ <sup>Cd</sup>
۷			۱۰۰	۰	۱۴/۶±۰/۲ <sup>Da</sup>	۱۲/۲±۰/۲ <sup>Db</sup>	۹/۰±۰/۲ <sup>Ec</sup>	۵/۳±۰/۲ <sup>Ed</sup>
۸			۸۰	۲۰	۱۵/۶±۰/۲ <sup>Ca</sup>	۱۳/۱±۰/۲ <sup>Db</sup>	۹/۶±۰/۲ <sup>Dc</sup>	۶/۲±۰/۲ <sup>Ed</sup>
۹	۶ درصد		۶۰	۴۰	۱۶/۴±۰/۲ <sup>Ca</sup>	۱۳/۹±۰/۲ <sup>Cb</sup>	۱۰/۴±۰/۲ <sup>Dc</sup>	۷/۶±۰/۲ <sup>Dd</sup>
۱۰			۴۰	۶۰	۱۷/۳±۰/۲ <sup>Ba</sup>	۱۴/۳±۰/۲ <sup>Cb</sup>	۱۱/۱±۰/۲ <sup>Bc</sup>	۸/۴±۰/۲ <sup>Cd</sup>
۱۱			۲۰	۸۰	۱۷/۹±۰/۲ <sup>Ba</sup>	۱۵/۳±۰/۲ <sup>Bb</sup>	۱۱/۸±۰/۲ <sup>Bc</sup>	۹/۴±۰/۲ <sup>Bd</sup>
۱۲			۰	۱۰۰	۱۸/۳±۰/۲ <sup>Ba</sup>	۱۵/۷±۰/۲ <sup>Bb</sup>	۱۲/۶±۰/۲ <sup>Cc</sup>	۱۰/۳±۰/۲ <sup>Ad</sup>
۱۳			۱۰۰	۰	۱۷±۰/۲ <sup>Ba</sup>	۱۴/۳±۰/۲ <sup>Cb</sup>	۱۱/۱±۰/۲ <sup>Bc</sup>	۶/۹±۰/۲ <sup>Dd</sup>
۱۴			۸۰	۲۰	۱۷/۷±۰/۲ <sup>Ba</sup>	۱۵/۱±۰/۲ <sup>Bb</sup>	۱۱/۴±۰/۲ <sup>Bc</sup>	۷/۵±۰/۲ <sup>Cd</sup>
۱۵	۹ درصد		۶۰	۴۰	۱۸/۲±۰/۲ <sup>Aa</sup>	۱۶/۲±۰/۲ <sup>Bb</sup>	۱۱/۵±۰/۲ <sup>Bc</sup>	۸/۲±۰/۲ <sup>Cd</sup>
۱۶			۴۰	۶۰	۱۸/۶±۰/۲ <sup>Aa</sup>	۱۷/۳±۰/۲ <sup>Ab</sup>	۱۲/۳±۰/۲ <sup>Ac</sup>	۹/۳±۰/۲ <sup>Bd</sup>
۱۷			۲۰	۸۰	۱۹/۱±۰/۲ <sup>Aa</sup>	۱۷/۵±۰/۲ <sup>Ab</sup>	۱۲/۴±۰/۲ <sup>Ac</sup>	۱۰/۱±۰/۲ <sup>Ad</sup>
۱۸			۰	۱۰۰	۱۹/۴±۰/۲ <sup>Aa</sup>	۱۸/۱±۰/۲ <sup>Ab</sup>	۱۳±۰/۲ <sup>Ac</sup>	۱۱/۳±۰/۲ <sup>Ad</sup>

در هر سطر اعداد با حروف یکسان کوچک و در هر ستون اعداد با حروف یکسان بزرگ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح  $P < 0.05$  می‌باشد. PGE: پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول، PSC: مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استارین و کلزا.

### پایداری اکسیداتیو

#### آزمون رنسیمت

آزمون رنسیمت مقاومت اکسایشی چربی و روغن‌ها را در شرایط شتاب یافته بررسی می‌کند و روغن‌های با مقادیر غیراشباع شدگی بالا به دلیل سرعت بالاتر واکنش با اکسیژن مقاومت کمتری به این آزمون نشان می‌دهند. در اثر شکست محصولات دوم اکسیداسیون (آلدهید و

کتون‌ها) محصولات سوم اکسیداسیون (اسید فرمیک) تشکیل خواهد شد که باعث افزایش هدایت الکتریکی آب مقطر مورد استفاده در دستگاه رنسیمت شده و به‌عنوان شاخص اتمام زمان مقاومت روغن ارزیابی می‌گردد. در جدول ۵ مقادیر مقاومت (بر حسب ساعت) اولئوژل‌های تهیه‌شده با استفاده از مخلوط‌های دوتایی از اولئوژلاتور مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر ذکر گردیده است. نتایج



یکسان بودند. به عبارت دیگر، در سطوح ۳، ۶ و ۹ درصد وزنی / وزنی، مخلوط‌های دوتایی از اولئوژلاتورهای با نسبت ۸۰ به ۲۰ پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول به ترتیب با ۵۰/۸، ۶۰/۳ و ۶۶ ساعت دارای بیشترین زمان مقاومت بودند. از سوی دیگر، در تمامی نمونه‌ها، اولئوژلاتورهایی که نسبت مونوآسیل گلیسرول در تهیه اولئوژلاتورشان ۱۰۰ (و نسبت پلی گلیسرول استر صفر) بود، دارای کمترین زمان مقاومت بودند. به طور کلی، روند تغییر مقاومت اولئوژلاتورها با تغییر نسبت مونوآسیل گلیسرول و پلی گلیسرول استر، ابتدا افزایشی و سپس کاهشی و در انتها با به صفر رسیدن نسبت پلی گلیسرول استر، شدیداً کاهش می‌باشد.

ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان مقاومت اکسایشی نمونه‌های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی / وزنی) تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود ( $P < 0.05$ ). از سوی دیگر، در سطوح الئوژلاتور یکسان، با تغییر نسبت مونوآسیل گلیسرول و پلی گلیسرول استر در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور، تفاوت معنی‌داری در مقادیر مقاومت نمونه‌ها مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). در این خصوص، با افزایش سطح اولئوژلاتور حاوی مونوآسیل گلیسرول از ۳ درصد به ۹ درصد (وزنی / وزنی) مقادیر مقاومت نمونه‌ها افزایش نشان داد. نکته قابل توجه آن که روند افزایشی مقاومت اولئوژلاتورها منظم نبود. در این خصوص، اولئوژلاتورهای تهیه‌شده با نسبت ۸۰ به ۲۰ پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مقاومت در سطوح افزوده‌شده

جدول ۵- عدد پراکسید، اسیدهای چرب آزاد و مقاومت در  $110^{\circ}\text{C}$  اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

تیمار	سطح اولئوژل (وزنی/وزنی)	PGE	MAG	عدد پراکسید (میلی اکسیژن بر کیلوگرم اکسیژن والان)	اسید چرب آزاد (%)	مقاومت $110^{\circ}\text{C}$ (ساعت)
شاهد PS20: R80	-	-	-	$2/1 \pm 0/5^a$	$2/1 \pm 0/5^a$	$27/5 \pm 0/7^l$
۱	۳ درصد	۱۰۰	۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$35/2 \pm 0/8^i$
۲	۳ درصد	۸۰	۲۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$50/8 \pm 0/7^e$
۳	۳ درصد	۶۰	۴۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$49/5 \pm 0/7^{ef}$
۴	۳ درصد	۴۰	۶۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$49/0 \pm 0/5^{ef}$
۵	۳ درصد	۲۰	۸۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$44/3 \pm 0/7^g$
۶	۳ درصد	۰	۱۰۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$30/5 \pm 0/9^k$
۷	۶ درصد	۱۰۰	۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$40/0 \pm 0/8^h$
۸	۶ درصد	۸۰	۲۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$60/3 \pm 0/7^b$
۹	۶ درصد	۶۰	۴۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$58/9 \pm 0/7^c$
۱۰	۶ درصد	۴۰	۶۰	$2/2 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$58/0 \pm 0/5^c$
۱۱	۶ درصد	۲۰	۸۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$52/3 \pm 0/7^d$
۱۲	۶ درصد	۰	۱۰۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$33/3 \pm 0/9^j$
۱۳	۹ درصد	۱۰۰	۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$48/6 \pm 0/8^f$
۱۴	۹ درصد	۸۰	۲۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$66/0 \pm 0/7^a$
۱۵	۹ درصد	۶۰	۴۰	$2/2 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$65/5 \pm 0/7^a$
۱۶	۹ درصد	۴۰	۶۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$65/2 \pm 0/5^a$
۱۷	۹ درصد	۲۰	۸۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$60/4 \pm 0/7^b$
۱۸	۹ درصد	۰	۱۰۰	$2/1 \pm 0/3^a$	$0/35 \pm 0/01^a$	$35/3 \pm 0/9^i$

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح  $P < 0.05$  می‌باشد. PGE: پلی گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول.

به‌طور کلی، نتایج به‌دست آمده دارای روند منظمی نسبت به تغییر سطح ترکیبات در مخلوط اولئوژلاتور نمی‌باشد. از سوی دیگر، در تمام اولئوژل‌های تهیه‌شده زمانی که در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور، نسبت مونوآسیل گلیسرول به ۱۰۰ (و نسبت پلی‌گلیسرول استر به صفر) رسید، کم‌ترین زمان مقاومت اکسایشی به ثبت رسید. همان‌طور که قبل‌تر اشاره گردید، در ساختار ترکیبات اولئوژلاتورهای مورد استفاده، گروه‌های هیدروکسیلی آزادی حضور دارند، که قادر به ایفای نقش آنتی‌اکسیدانی هستند. در حقیقت، در هنگام شروع فرایند اکسیداسیون، این ترکیبات با اهدای هیدروژن، اثر پراکسیدهای پدیدار شده را خنثی، و مقاومت روغن را افزایش می‌دهند. حال آن‌که چرا در برخی از مخلوط‌های اولئوژلاتور، مقاومت اکسایشی به‌صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد، به احتمال بسیار بالایی می‌تواند به اثر سینرژیستی که در اثر حضور هم‌زمان پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول ایجاد می‌شود، نسبت داد. مشابه چنین اثر سینرژیستی میان آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی نظیر بوتیل هیدروکسی تولون و بوتیل هیدروکسی آیزول نیز مشاهده می‌شود. هنگامی که این دو آنتی‌اکسیدان هم‌زمان استفاده می‌شوند، قدرت آنتی‌اکسیدانی بیشتری از خود بروز داده و دارای فاکتور حفاظت بالاتری هستند. در حقیقت، در هنگام فرایند اکسیداسیون، یکی از آن‌ها با اهدای هیدروژن به هیدروپراکسیدهای تولیدشده، اثر آن را خنثی و دیگری با بخشیدن هیدروژن به ترکیب آنتی‌اکسیدان و احیای آن، این ترکیب را دوباره به مبارزه با ترکیبات اکسیدانی می‌فرستد. در بررسی حاضر نیز، زمانی که نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور صفر نیست، اثر سینرژیستی مشاهده می‌شود. با توجه به این مطلب که اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول دارای زمان مقاومت اکسایشی بالایی بودند، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که این ترکیب از قدرت سینرژیستی بالاتری برخوردار است. یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۸) و همچنین Gomes و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که مونوآسیل گلیسرول‌ها قادر به افزایش زمان مقاومت اکسایشی (مقاومت در ۱۱۰°C) روغن‌ها هستند. لازم به‌ذکر است که در پژوهش‌های مذکور تنها از یک ترکیب به‌عنوان اولئوژلاتور استفاده شده است در حالی که در پژوهش فعلی از دو اولئوژلاتور در ترکیب با یکدیگر استفاده شده است. نادری و همکاران (۲۰۱۸) افزایش مشاهده شده در زمان مقاومت اکسایشی نمونه‌ها را ناشی از افزایش محتوای اسیدهای چرب اشباع در اثر افزودن مونوآسیل گلیسرول اشباع‌شده (دارای SFA برابر با ۹۹/۵ درصد) دانستند. به‌طور کلی و با بررسی تمامی پژوهش‌های پیشین، نتایج در زمینه مقاومت اکسایشی ضد و نقیض می‌باشد و مستلزم بررسی‌های بیشتری است.

#### عدد پراکسید

عدد پراکسید نمایان‌گر میزان ترکیبات اولیه ایجاد شده (هیدروپراکسیدها) در اثر اکسایش روغن‌ها می‌باشد. هیدروپراکسیدها

برای یک ماده کاملاً مایع، تمام انرژی به صورت گرما تلف شده و مقدار مدول الاستیک (ذخیره) صفر بوده و در نتیجه، بین تنش و کرنش اعمال شده  $90^\circ$  اختلاف فاز وجود خواهد داشت. در شکل ۱ مدول ویسکوز ( $G''$ ) و الاستیک ( $G'$ ) اولتوژل روغن ترکیبی پالم استارین و کلزا مخلوط شده با سطح ۶ درصد (وزنی/وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌های اولتوژل مقادیر مدول الاستیک از مدول ویسکوز بیشتر می‌باشد که این مطلب حاکی از آن است که اولتوژل‌های تولید شده از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر دارای خواص شبه جامد بیشتری هستند. با توجه به شکل ۱، اولتوژل‌های تهیه شده از مخلوط‌های دوتایی اولتوژلاتور به ترتیب با نسبت ۱۰۰ به صفر پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مدول الاستیک بودند. پس از اولتوژل مذکور، نمونه‌های اولتوژل تهیه شده از مخلوط‌های دوتایی اولتوژلاتور با نسبت ۰ به ۱۰۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول و در نهایت ۶۰ به ۴۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول به ترتیب دارای بیشترین مدول الاستیک بودند. یافته‌های رئولوژیکی به دست آمده در تطابق با نتایج نقطه ذوب لغزشی و درصد SFC اولتوژل‌ها بود. به عبارت دیگر، نقطه ذوب لغزشی اولتوژل‌ها در حدود  $40^\circ\text{C}$  بود که منحنی‌های رئولوژیکی به دست آمده تاییدکننده این مطلب می‌باشد. همچنین، در دمای  $35^\circ\text{C}$ ، اولتوژل‌ها دارای SFC در حدود ۴ تا ۵ درصد بودند. این مطلب در تطابق با منحنی‌های مدول الاستیک به دست آمده برای اولتوژل‌ها در در دمای ۳۵ تا  $40^\circ\text{C}$  می‌باشد. با توجه به نقطه ذوب نمونه‌ها (حدود  $40^\circ\text{C}$ )، به دلیل ذوب کامل (غالب شدن رفتار مایع‌گونه)، منحنی مدول الاستیک نمونه‌های اولتوژل پس از این دما، ناپدید خواهد شد.

### مدول کمپلکس

مدول کمپلکس که در معادله ۱ نشان داده شده است، عبارت است از نسبت تنش نوسانی به کرنش نوسانی و نشان‌دهنده مقاومت کلی یک ماده به کرنش اعمال شده است.

$$G^* = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (1)$$

در شکل ۲ منحنی مدول کمپلکس ( $G^*$ ) اولتوژل روغن ترکیبی پالم استارین و کلزا مخلوط شده با سطح ۶ درصد (وزنی/وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نشان داده شده است.

همان‌طور که قبل‌تر ذکر شد، مدول کمپلکس نشان‌گر سختی نمونه‌ها می‌باشد. از آن‌جا که در سنجش مدول کمپلکس، مؤلفه‌های ویسکوز و الاستیک نیز در نظر گرفته شده است، نتایج مدول کمپلکس قابل تعمیم به مدول‌های مذکور نیز می‌باشد.

Gomes و همکاران (۲۰۱۰)، مونوآسیل گلیسرول مورد استفاده در پژوهش آنان، از فرایند صابونی شدن روغن زیتون به دست آمده است. با توجه به حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فراوان در روغن زیتون، می‌توان عنوان کرد در هنگام استخراج مونوآسیل گلیسرول‌ها از این روغن، مقداری آنتی‌اکسیدان نیز همراه با آن وارد می‌شود که افزایش مقاومت اکسایشی به وجود آمده در اثر افزودن غلظت کم مونوآسیل گلیسرول‌ها را می‌توان به این ترکیبات نسبت داد.

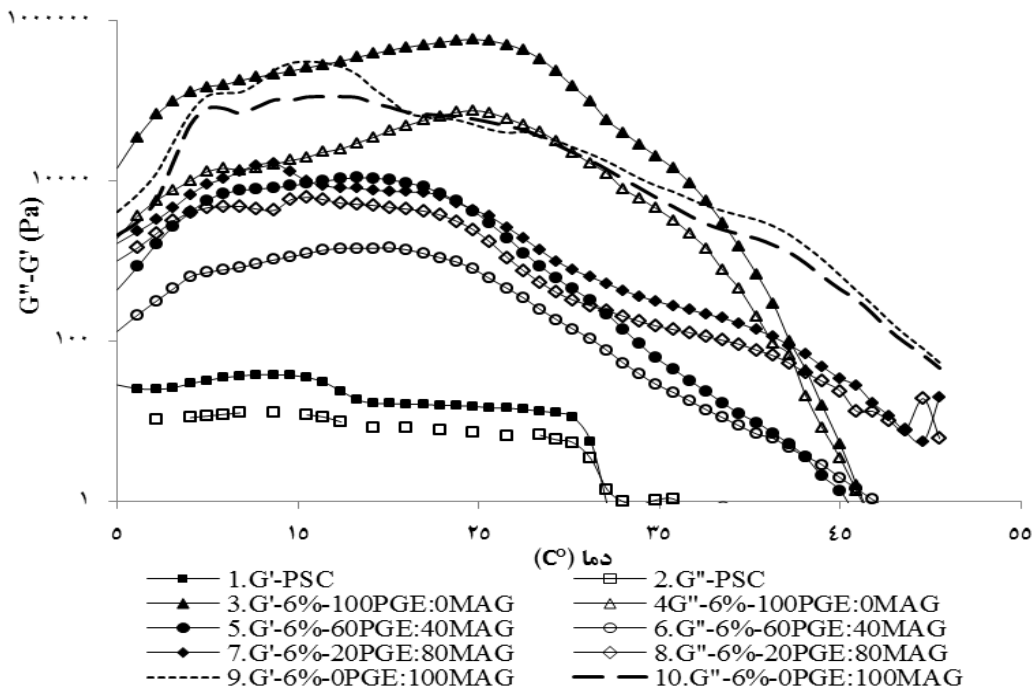
### اسیدهای چرب آزاد

درصد اسید چرب آزاد نشان‌گر فساد هیدرولیتیک روغن‌ها می‌باشد. این ترکیبات همچنین از محصولات ثانویه اکسایش روغن و چربی‌ها می‌باشند (O'Brien, 2004). چربی‌های خوراکی اعم از حیوانی و نباتی دارای مقدار معین و جزئی اسید چرب آزاد هستند ولی ممکن است در اثر عوامل فساد و رخ دادن واکنش هیدرولیز این مقدار از حد معین تجاوز نماید. با افزایش مقدار اسید چرب آزاد در روغن نقطه دود کاهش می‌یابد. مقادیر اسیدهای چرب آزاد اولتوژل‌های تولید شده با استفاده از اولتوژلاتورهای حاوی مونوآسیل گلیسرول به ترتیب در جدول ۵ ذکر گردیده است. همانند یافته‌های مشاهده شده برای عدد پراکسید، ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان سطوح مختلف (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/وزنی) اولتوژلاتور افزوده شده به روغن ترکیبی پالم استارین و کلزا و همچنین در سطوح یکسان اولتوژلاتور تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ( $P > 0.05$ ). قابل ذکر است که با کاهش نسبت پلی‌گلیسرول استر و همچنین افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولتوژلاتورهای افزوده شده به روغن، اسیدهای چرب آزاد اولتوژل‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد ( $P > 0.05$ ). در این زمینه، نادری و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که حضور ۳ و یا ۵ درصد وزنی/وزنی مونوآسیل گلیسرول منجر به افزایش اسیدهای چرب در طی آزمون شال خواهد شد. در این زمینه، Zhang و همکاران (۲۰۱۵) و Krishnamurthy (۱۹۸۲) عنوان نمودند که ترکیبات دارای گروه‌های هیدروکسیلی آزاد دارای نقش کاتالیتیک در هیدرولیز چربی‌ها هستند. همچنین، Vichi (۲۰۰۳) بیان داشت اثر ترکیبات مذکور در دماهای نسبتاً ملایم و زمان‌های طولانی بیشتر است.

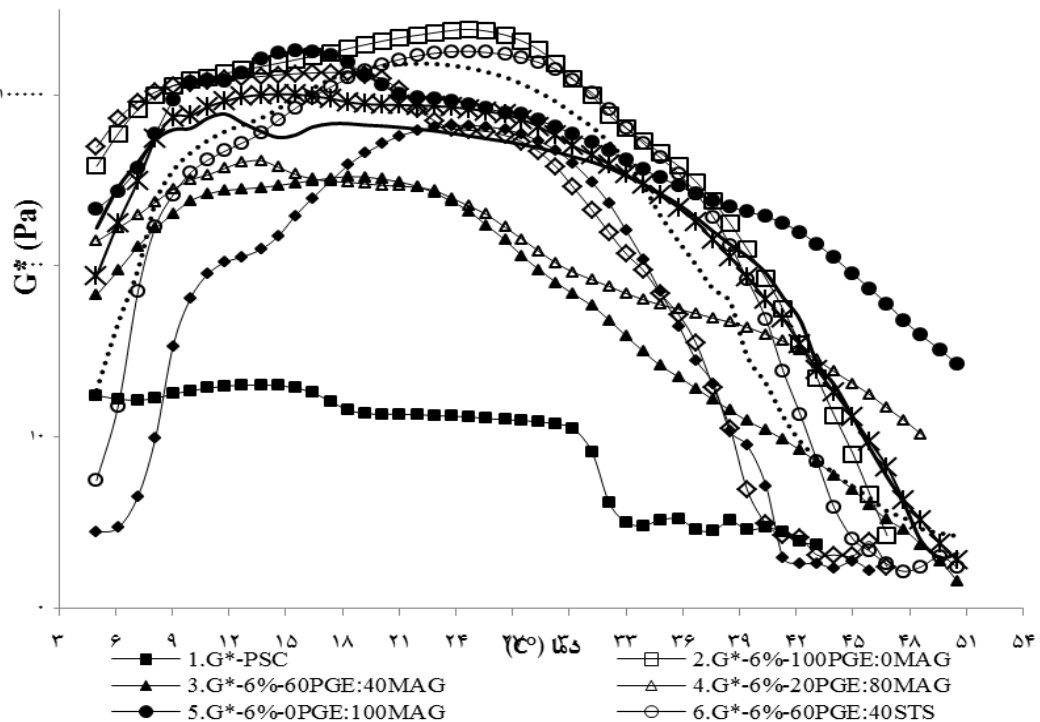
### ویژگی‌های رئولوژیکی (آزمون روبش دما)

#### مدول‌های ویسکوز و الاستیک

مدول الاستیک (ذخیره)، مقدار انرژی ذخیره شده یا بازیافت شده طی هر سیکل تغییر شکل را نشان می‌دهد. بنابراین، برای یک ماده کاملاً جامد، تمام انرژی در آن ذخیره گشته و تنش و کرنش اعمال شده، هم‌فاز هستند. مدول ویسکوز (افت) نشان‌دهنده مقدار انرژی تلف شده (به صورت گرما در اثر اصطکاک بین مولکول‌ها) است، بنابراین



شکل ۱- مدول ویسکوز ( $G''$ ) و الاستیک ( $G'$ ) اولئوزل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط شده با سطح ۶ درصد (وزنی / وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول (PGE:MAG).



شکل ۲- مدول کمپلکس ( $G^*$ ) اولئوزل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط شده با سطح ۶ درصد (وزنی / وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی گلیسرول استر با مونوآسیل گلیسرول و سوربیتان مونواسترات (PGE:STS و PGE:MAG)

پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نمایش داده شده است. مشابه با یافته‌های پیشین در مورد مدول الاستیک و مدول کمپلکس، نسبت‌های ۱۰۰ به صفر و ۲۰ به ۸۰ پلی گلیسرول استر و مونو آسیل گلیسرول دارای مقاومت بالاتری بوده و دیرتر نسبت به سایر نمونه‌ها خواص مایع‌گونه پدیدار ساختند. شایان ذکر است، زمانی که مقادیر مدول ویسکوز و الاستیک برابر گردد ( $G''=G'=1$ )، تحت عنوان نقطه ژلی شدن و کراس‌اُور<sup>۱</sup> از آن یاد می‌گردد. به عبارت دیگر، دمایی که در آن مقدار تانژانت دلتا از ۱ عبور کند ( $G' = G''$ ) به عنوان نقطه ذوب شدن در نظر گرفته می‌شود که به آن دمای عبور نیز گویند. به بیانی دیگر، در هنگام ذوب شدن اولئوژل‌ها، دمایی که در آن مدول‌های دینامیکی تقاطع پیدا کرده و از روی یکدیگر عبور می‌کنند (دمای کراس‌اُور)، نشانه‌ای از نرم شدن اولئوژل و شروع ذوب و جریان یافتن آن می‌باشد. در حقیقت، هر چه منحنی زاویه فاز اولئوژل دیرتر این خط را قطع کند (مقدار تانژانت دلتا از ۱ عبور کند)، دارای انسجام بیشتری بوده و خصوصیات جامدگونه خود را برای مدت طولانی‌تری در مقابل افزایش دما حفظ می‌کند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، زاویه فاز مربوط به روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا در دمای بسیار کم‌تری نسبت به سایر اولئوژل‌ها خط ۱ را قطع می‌نماید. از این امر چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا (فاقد اولئوژلاتور) نسبت به سایر اولئوژل‌ها دارای خواص مایع‌گونه غالب‌تری نسبت به خواص جامدگونه می‌باشد.

با توجه به این مطلب که کم‌ترین میزان مدول‌های الاستیک و کمپلکس مربوط به مخلوط روغن پالم استتارین و کلزا می‌باشد (فاقد ترکیبات اولئوژلاتور)، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که استفاده از اولئوژلاتور مونوآسیل گلیسرول نقش بسزایی در ایجاد استحکام بافت و افزایش مدول الاستیک و کمپلکس ایفا کرده است. به‌طور کلی، اولئوژل‌های تولیدی دارای خواص جامدگونه غالب‌تری نسبت به روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا بودند. منحنی‌های رئولوژیکی ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و همچنین زاویه فاز به‌دست آمده برای تمامی اولئوژل بر پایه مونوآسیل گلیسرول در دامنه دمایی ۵ تا ۳۵°C کاملاً پدیدار بوده و از بین نرفته‌اند. این مطلب حاکی از آن است که اولئوژل‌های تولیدی دارای مقاومت گرمایی بالایی بوده و در محدوده دمایی نسبتاً بالایی خواص خود را حفظ می‌نمایند. در حقیقت، ماهیت الاستیک این مخلوط‌ها در این محدوده دمایی غالب است. چربی‌های پلاستیک (مانند مارگارین‌ها و شور تنینگ‌ها)  $G'$  بالاتری نسبت به  $G''$  دارند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت اولئوژل‌های تولیدی چربی‌هایی پلاستیک هستند. از آن‌جا که خواص فیزیکی نظیر نقطه ذوب لغزشی و درصد SFC به‌صورت مستقیم در ارتباط با بافت ماده می‌باشند،

بنابراین، در شکل ۲ مدول کمپلکس تمامی اولئوژل‌های تولیدشده با مونوآسیل گلیسرول با یکدیگر مقایسه شده‌اند، تا ضمن بررسی سختی آن‌ها، مدول ویسکوز و الاستیک سایر اولئوژل‌های تهیه‌شده با یکدیگر مقایسه شود. با توجه به شکل ۲، اولئوژل تهیه‌شده با مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور ۱۰۰ به صفر پلی گلیسرول استر و مونوآسیل لیسرول دارای بیشترین مدول کمپلکس بودند. پس اولئوژل مذکور، نمونه‌های تهیه‌شده با مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور با نسبت صفر به ۱۰۰ پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۲۰ به ۸۰ پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۶۰ به ۴۰ پلی گلیسرول استر و مونو آسیل گلیسرول و در نهایت مخلوط روغن کلزا و پالم استتارین دارای بیشترین سختی (مدول کمپلکس) بودند. با توجه به مؤلفه‌هایی که مدول کمپلکس در بر می‌گیرد، توالی ذکر شده در بالا قابل تعمیم برای مدول الاستیک تمامی اولئوژل‌ها نیز می‌باشد. به‌طور کلی، منحنی مدول کمپلکس دارای روند منظمی که وابسته به نسبت مونوآسیل گلیسرول به‌کار گرفته‌شده در اولئوژلاتورها باشد، نیستند. با این وجود، مشاهده می‌شود که زمانی که نسبت مورد استفاده از مونوآسیل گلیسرول و پلی گلیسرول استر در تهیه اولئوژلاتورها نسبتاً برابر باشد، اولئوژل‌های تولیدی از سختی بالایی بر خوردار نیستند. به‌همین دلیل، اولئوژلاتورهای تهیه‌شده از نسبت‌های ۶۰ به ۴۰ و یا ۴۰ به ۶۰ منجر به تولید اولئوژل‌هایی شدند که دارای کم‌ترین سختی نسبت به سایرین بودند. از سوی دیگر، مخلوط دوتایی اولئوژلاتورهایی که دارای نسبت ۰ به ۱۰۰، ۱۰۰ به ۰، ۲۰ به ۸۰ و ۸۰ به ۲۰ بودند، بیشترین سختی را به نمایش گذاشتند. دلیل این پدیده می‌تواند به برهم‌کنش‌های مولکولی که در حین اختلاط این ترکیبات ایجاد می‌شود، نسبت داده شود.

### زاویه فاز

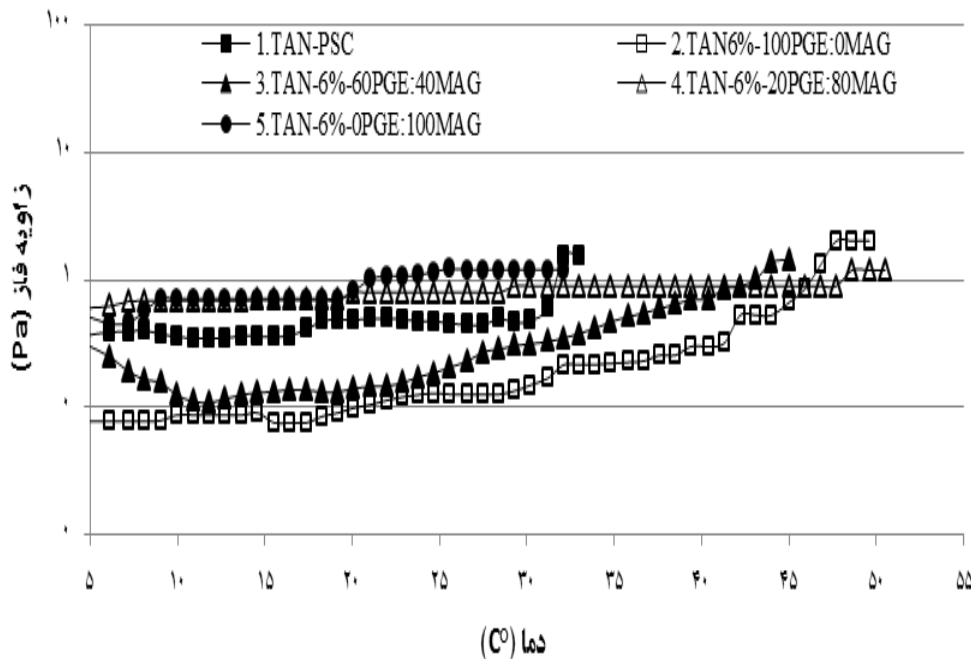
تابع مهمی که برای توصیف رفتار ویسکوالاستیک مواد به‌کار می‌رود، تانژانت تغییر فاز یا زاویه فاز (تانژانت دلتا) نام دارد. زاویه فاز که در معادله ۲ نشان داده شده است، عبارت است از آرک تانژانت نسبت مدول ویسکوز به مدول الاستیک که از صفر تا ۹۰°C متغیر می‌باشد. هر چه زاویه فاز به صفر درجه سانتی‌گراد نزدیک‌تر باشد، مولفه الاستیک غالب‌تر و هر چه به ۹۰°C نزدیک‌تر باشد، مولفه ویسکوز غالب‌تر است. بنابراین، عبور زاویه فاز از مقدار ۴۵°C نشان‌دهنده غالب شدن مولفه ویسکوز نسبت به مولفه الاستیک است.

$$\tan \delta = \text{Arc tan} \frac{G''}{G'} \quad (2)$$

در شکل ۳ زاویه فاز اولئوژل روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ۶ درصد (وزنی / وزنی) از نسبت‌های مختلف

بنابراین همبستگی بالایی با خواص رئولوژیکی داشته و نتایج آن قابل تعمیم است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، اولئوژل‌های تهیه شده با مونوآسیل گلیسرول درصد SFC و نقطه ذوب لغزشی بالایی داشتند که همین مطلب در مقادیر مدول‌های الاستیک و کمپلکس و همچنین زاویه فاز آن‌ها نمود پیدا کرده است. Patel و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند برای این که چربی‌های ساختار یافته دارای خواص مطلوب و کاربردی مناسب باشند، می‌بایست حداقل مدول الاستیکی در دامنه  $10^4$  تا  $10^5$  پاسکال داشته باشند. نکته حائز اهمیت آن است که اولئوژلاتورهای مونوآسیل گلیسرول قادر بودند تا مدول الاستیک روغن پایه (فاقد اولئوژلاتور) را از کم‌تر از ۱۰۰ پاسکال به  $10^4$  تا  $10^5$  پاسکال افزایش دهند. با توجه به شکل ۳-۴ تمامی اولئوژل‌های تولیدی دارای مدول الاستیکی بین محدوده  $10^4$  تا  $10^5$  پاسکال هستند؛ که همین امر خواص تکنیکی آن را برای استفاده در محصولات چرب میسر می‌سازد.

بنابراین همبستگی بالایی با خواص رئولوژیکی داشته و نتایج آن قابل تعمیم است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، اولئوژل‌های تهیه شده با مونوآسیل گلیسرول درصد SFC و نقطه ذوب لغزشی بالایی داشتند که همین مطلب در مقادیر مدول‌های الاستیک و کمپلکس و همچنین زاویه فاز آن‌ها نمود پیدا کرده است. Patel و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند برای این که چربی‌های ساختار یافته دارای خواص مطلوب و کاربردی مناسب باشند، می‌بایست حداقل مدول الاستیکی در دامنه  $10^4$  تا  $10^5$  پاسکال داشته باشند. نکته حائز اهمیت آن است که اولئوژلاتورهای مونوآسیل گلیسرول قادر بودند تا مدول الاستیک روغن پایه (فاقد اولئوژلاتور) را از کم‌تر از ۱۰۰ پاسکال به  $10^4$  تا  $10^5$  پاسکال افزایش دهند. با توجه به شکل ۳-۴ تمامی اولئوژل‌های تولیدی دارای مدول الاستیکی بین محدوده  $10^4$  تا  $10^5$  پاسکال هستند؛ که همین امر خواص تکنیکی آن را برای استفاده در محصولات چرب میسر می‌سازد.



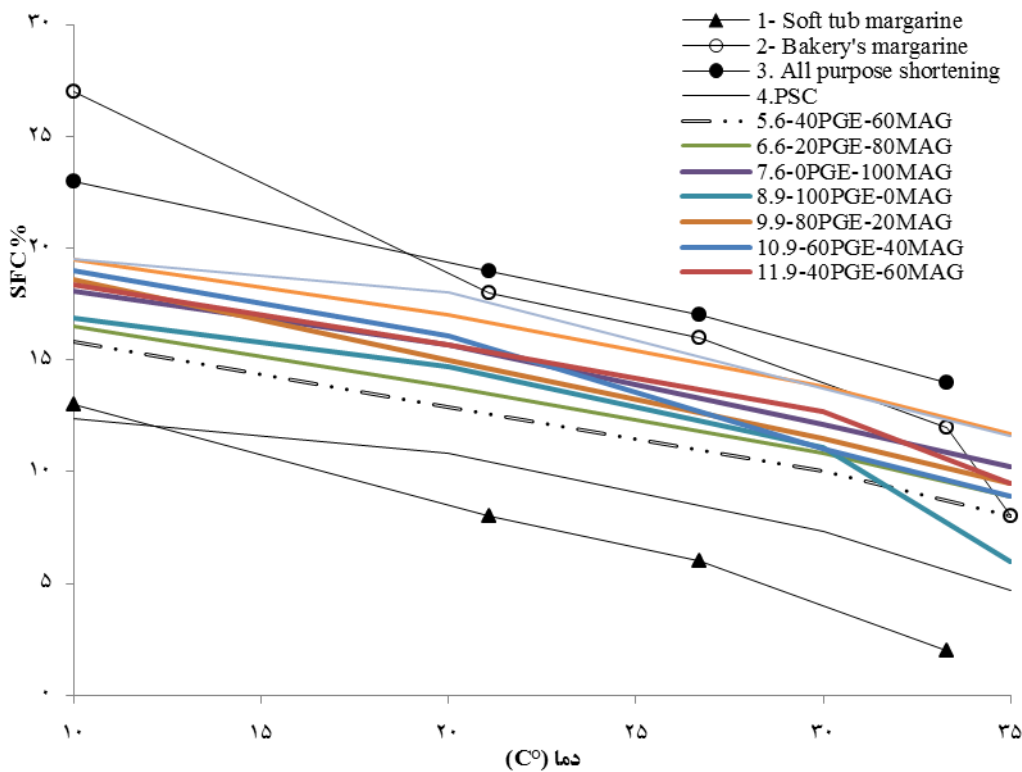
شکل ۳- زاویه فاز اولئوژل روغن ترکیبی پالم استتارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ۶ درصد (وزنی/وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول (PGE:MAG)

بنابراین، منحنی SFC اولئوژل‌های تولیدی در کنار منحنی SFC برخی چربی‌های تجاری رسم شد. در صورتی که تطابق و هم‌پوشانی بین منحنی‌های موارد مذکور مشاهده شود، می‌توان از آن‌ها برای تولید چربی‌های تجاری استفاده نمود. در شکل ۴ منحنی‌های SFC برخی چربی‌های تجاری و همچنین اولئوژل‌های تولیدشده بر پایه مونوآسیل گلیسرول نمایش داده شده است. به‌منظور بررسی پتانسیل کاربردی

پتانسیل کاربرد اولئوژل‌های تولیدی پس از بررسی خواص فیزیکیوشیمیایی و رئولوژیکی اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول، حال به بررسی کاربردهای آنان در تولید محصولات چرب خواهیم پرداخت. از آن‌جا که قوام و پلاستیسیته چربی‌ها متأثر از درصد SFC آن‌ها می‌باشد، بنابراین محصولات چرب با درصد SFC مشابه ویژگی‌های یکسانی از خود نشان می‌دهند.

مارگارین ظرفی نرم<sup>۱</sup> باید در خارج از یخچال و فریزر به راحتی پخش شود، از این رو نسبت چربی جامد به مایع کمتری در مقایسه با مارگارین سخت<sup>۲</sup> دارد. شورتینگ همه منظوره به دو شکل دارای امولسیفایر و فاقد آن تولید می شود. شورتینگ های همه منظوره غیر امولسیون به طور مشخص در آشپزی، تولید کراکرها و سرخ کردن استفاده می شوند، در حالی که انواع امولسیونی مشخصاً برای تولید کیک و شیرینی پزی مناسب هستند (در شرایطی که به دام انداختن هوا در سیستم شورتینگ مورد نظر است). مارگارین های نانوائی باید بافت، تردی، احساس دهانی، قابلیت به دام انداختن هوا و انتقال حرارت مطلوب را در محصولات نانوائی فراهم آورند (Ghotra, 2002).

اولئوژل های تولیدی، منحنی درصد SFC آن ها در کنار برخی چربی های تجاری شامل، مارگارین ظرفی نرم، مارگارین نانوائی و شورتینگ های چندمنظوره رسم گردید (Ghotra, 2002). پس از آن، منحنی های درصد SFC اولئوژل ها و چربی های تجاری که از یکدیگر افتراق زیادی داشت حذف گردید و در نهایت تنها منحنی های اولئوژل هایی باقی ماند که دارای تشابه بیشتری با چربی های تجاری هستند. همان طور که مشاهده می شود، مخلوط روغن کلزا و پالم استتارین در تولید مارگارین ظرفی نرم، اولئوژل های تولید شده با سطح افزوده شده ۶ و ۹ درصد اولئولاتور با نسبت های (۰ به ۱۰۰)، (۲۰ به ۸۰)، (۴۰ به ۶۰)، (۶۰ به ۴۰)، (۸۰ به ۲۰) و (۱۰۰ به ۰) پلی گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول در تولید مارگارین نانوائی و شورتینگ چندمنظوره کاربرد خواهند داشت.



شکل ۴-۴- منحنی درصد SFC اولئوژل های بر پایه مونوآسیل گلیسرول و برخی چربی های تجاری

قنادی و آردی و اشباعیت بالای آن و به دنبال آن ایجاد بیماری های مختلف مانند بیماری های قلبی- عروقی، استفاده از تکنیک اورگانوژل در تولید شورتینگ با میزان اشباعیت پایین را می تواند پژوهشی نو در ارتقاء سلامت مصرف کنندگان تلقی نمود. لذا در این تحقیق، از تکنیک اورگانوژل سازی مبتنی بر مونو-آسیل گلیسرول و پلی-گلیسرول استر به منظور تولید شورتینگ با میزان اشباعیت پایین استفاده شد.

### نتیجه گیری

الزام برای حذف روغن های هیدروژنه و جایگزینی چربی های سالم تر با حداقل میزان اسیدهای چرب اشباع و ترانس، محققان و شرکت های تولید کننده را در چالشی برای شناسایی و جایگزینی روش های مناسب تولید روغن ها و چربی های سالم تر با پایداری بالاتر قرار داده است. با توجه به کاربرد بسیار فراوان شورتینگ ها در صنایع

2 Stick margarine

1 Soft tub margarine

اولیه افزوده شدند و خواص فیزیکیوشیمیایی آن‌ها مانند ترکیب اسیدهای چرب، نقطه‌ی ذوب لغزشی، درصد چربی جامد، عدد پراکسید، درصد اسید چرب آزاد و همچنین خواص رئولوژیکی شامل مدول‌های ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و زاویه فاز بررسی گردیدند. نتایج نشان داد که اولئوئل‌های تولیدی پتانسیل بالقوه‌ای در تولید مارگارین‌های نانویی و شورتینگ‌های چندمنظوره دارند.

بدین منظور، یک گروه مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استارین و ۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد، به طوری که درصد اسیدهای چرب اشباع در ترکیب نهایی ۲۰٪ گردید. اورگانوژلاتورهایی که ترکیبی از مونوآسیل گلیسرول و پلی گلیسرول استر بودند، در ۶ نسبت دوتایی (۱۰۰-۰)، (۸۰-۲۰)، (۶۰-۴۰)، (۴۰-۶۰)، (۲۰-۸۰) و (۰-۱۰۰) مخلوط و در سه غلظت ۳، ۶ و ۹ درصد (وزنی / وزنی) به ترکیب روغن

## منابع

- نادری، م.، فرمانی، م.، رشیدی، ل. (۱۳۹۴). بررسی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی اولئوژل روغن آفتابگردان. علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. ۱۰ (۴)، ۱۲۵-۱۳۵.
- AOCS 1996. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, Champaign, AOCS Press.
- Basso, R. C., Ribeiro, A. P. B., Masuchi, M. H., Gioielli, L. A., Goncalves, L. A. G., Santos, A. O. D., Cardoso, L.P. Grimaldi, R. (2010). Tripalmitin and monoacylglycerols as modifiers in the crystallisation of palm oil. *Food Chemistry* 122, 1185-1192.
- Caponio, F., Paradiso, V., Bruno, G., Summo, C., Pasqualone, A., Gomes, T. (2011). Do monoacylglycerols act as pro-oxidants in purified soybean oil? Evidence of a dose-dependent effect. *Italian Journal of Food Science*, 23, 239-245.
- Chen, B., McClements, D. J., Decker, E. A. (2014). Impact of diacylglycerol and monoacylglycerol on the physical and chemical properties of stripped soybean oil. *Food Chemistry* 142, 365-372.
- Colakoglu, A. S. (2007). Oxidation kinetics of soybean oil in the presence of monoolein, stearic acid and iron. *Food Chemistry* 101, 724-728.
- Gaudino, N., Ghazani, S. M., Clark, S., Marangoni, A. G., Acevedo, N. C. (2019). Development of lecithin and stearic acid based oleogels and oleogel emulsions for edible semisolid applications. *Food research International* 116, 79-89.
- Ghotra, B. S., Dyal, S. D., Narine S. S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International* 35 (10), 1015-1048.
- Gomes, T., Caponio, F., Bruno, G., Summo, C., Paradiso, V. M. (2010). Effects of monoacylglycerols on the oxidative stability of olive oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90, 2228-2232.
- Husaini, Z. (1999). Conventional methods for food analysis. 3<sup>rd</sup> Edition. Shiraz University Press.
- Jang, A., Bae, W., Hong, H., Hyeon, 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.
- Jirasubkunakorn, W., Bell, A. E., Gordon, M. H., Smith, K.W. (2006). Effect of variation in palm stearin: palm olein ratio on the crystallisation of a low- trans shortening. *Food Chemistry* 103, 477-485.
- Krishnamurthy, R. G. (1982). Cooking oils, salad oils and salad dressings. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 4<sup>th</sup> Edition. New York.
- Krog, N. (2001). Crystallization Properties and Lyotropic Phase Behavior of Food Emulsifiers. in Garti N, Sato K. editors. Crystallization Processes in Fats and Lipids Systems, New York: Marcel Dekker Inc. 505-526.
- Lupi, F. R., Gabriele, D., Facciolo, D., Baldino, N., Seta, L., De Cindio, B. (2012). Effect of organogelator and fat source on rheological properties of olive oil-based organogels. *Food research international* 46, 177-184.
- Lupi, F. R., Gabriele, D., Greco, V., Baldino, N., Seta, L., De Cindio, B. (2013). A rheological characterisation of an olive oil/fattyalcohols organogel. *Food Research International* 51(2), 510-517.
- Martini, S., Herrera, M. L., Hartel, R. W. (2002). Effect of processing conditions on microstructure of milk fat fraction/sunflower oil blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 79(11), 1063-1068.
- Maruyama, J. M., Soares, F. A., D'Agostinho, N. R., Goncalves, M. I., Gioielli, L. A., Da Silva, R. C. (2014). Effects of emulsifier addition on the crystallization and melting behavior of palm olein and coconut oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(10), 53-63.
- Metzroth, D. J. (2004). Bailey's industrial oil and fat products. 6<sup>th</sup> Edition. Vol 4. New Jersey: John Wiley & Sons, 83-125.
- Mistry, B. S., Min, D. B. (1988). Prooxidant Effects of Monoglycerides and Diglycerides in Soybean Oil. *Journal of Food Science* 53, 1896-1897.
- Naderi, M., Farmani, J., Rashidi, L. (2016). Structuring of Chicken Fat by Monoacylglycerols. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 93, 1221-1231.
- Naderi, M., Farmani, J., Rashidi, L. (2018). The impact of saturated monoacylglycerols on the oxidative stability of Canola oil under various time/temperature conditions. *Grasas Aceites* 69, 267.
- O'Brien, R. D. (2004). Fats and oils: Formulating and processing for applications, 2<sup>nd</sup> Edition: CRC Press.



- Ogütçü, M., Yılmaz, E. (2014). Oleogels of virgin olive oil with carnauba wax and monoglyceride as spreadable products. *Grasas y Aceites* 65(3).
- Paradiso, V. M., Caponio, F., Bruno, G., Pasqualone, A., Summo, C., Gomes, T. (2014). Complex role of monoacylglycerols in the oxidation of vegetable oils, different behaviors of soybean monoacylglycerols in different oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62, 10776–10782.
- Pernetti, M., Van Malssen, K., Kalnin, D., Flöter, E. (2007). Structuring edible oil with lecithin and sorbitan tri-stearate. *Food Hydrocolloid* 21, 855-861.
- Patel, A. R., Dewettinck, K. (2015). Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel. *European journal of lipid science and technology* 117 (11), 1772-1781.
- Peyronel, F., Marangoni, A. G. (2014). In search of confectionary fat blends stable to heat: hydrogenated palm kernel oil stearin with sorbitan monostearate. *Food Research International* 55, 93-102.
- Saberi, A., Lai, O. M., Miskandar, M. (2012). Melting and Solidification Properties of Palm-Based Diacylglycerol, Palm Kernel Olein, and Sunflower Oil in the Preparation of Palm-Based Diacylglycerol-Enriched Soft Tub Margarine. *Food and Bioprocess Technology*. 5, 1674-1685.
- Tarrago-Trani, M. T., Philips, K. M., Lemar, L. E., Holden, M. (2006). New and existing oils and fats used in products with reduced trans-fatty acid content. *Journal of the American Dietetic Association* 106(6): 867-880.
- Verstringe, S., Danthine, S., Blecker, C., Depypere, F., Dewettinck, K. (2013). Influence of monopalmitin on the isothermal crystallization mechanism of palm oil. *Food Research International* 51, 344-353.
- Vichi, S., Pizzale, L., Conte, L. S., Buxaderas, S., Lopez-Tamames, E. (2003). Solid-phase microextraction in the analysis of virgin olive oil volatile fraction, modifications induced by oxidation and suitable markers of oxidative status. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 6564–71.
- Yi, B., Mi-Ja, K. I., Su, Y., Lee, 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.
- Yılmaz, E., Ögütçü, M. (2015). The texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels. *Food and function* 6(4), 1194-1204.
- Zhang, Z., Wang, Y., Ma, X., Wang, E., Liu, M., Yan, R. (2015). Characterisation and oxidation stability of monoacylglycerols from partially hydrogenated corn oil. *Food Chemistry* 173, 70-79.

## Production and evaluation of physicochemical and rheological properties of monoacylglycerol and polyglycerol ester-based Oleogels as a low saturated shortening

R. Mahjoub<sup>1</sup>, V. Hakimzadeh<sup>1\*</sup>, E. Ataye Salehi<sup>1</sup>, J. Farmani<sup>2</sup>

Received: 2020.04.22

Accepted: 2020.06.06

**Introduction:** The solidification of edible oils via some techniques like hydrogenation is always accompanied by an increase in the amounts of saturated fatty acids (SFA) and trans fatty acids (TFA). Such fatty acids play a crucial role in cardiovascular diseases which put health of consumers at risk. Today, various techniques are applied to reduce the amounts of SFA and TFA in fatty-based products. These techniques are including the blending of some fats, esterification and recently oleogel system. In this study, some oleogel systems prepared by mixing monoacylglycerol (MAG) and polyglycerol ester (PGE) and adding to a mixture of 20% palm stearin oil and 80% rapeseed oil to decrease saturation in shortening were studied.

**Materials & Methods:** This research was conducted to investigate the structuring effect of mono-acilglycerol (MAG) and polyglycerol ester (PGE) to formulate some fatty-based product. For this purpose, various binary mixtures (VBM) of PGE:MAG were added to base oils ( 80% Canola Oil and 20% Palmestearin Oil ) at concentrations of 3, 6 and 9 (wt %) with ratios of 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20, 100:0.

**Result and Discussion:** The results showed that saturated fatty acid (SFA), slip melting point (SMP) and solid fat content (SFC) increased with an increase in the VBM of MAG. MAG did not affect peroxide value and the free fatty acids. Rancimat test presents contradictory results. The rheological analysis revealed that  $G''$ ,  $G'$ ,  $G^*$  and  $\tan \delta$  of the base oil were increased to  $10^5$  Pa. With proper plasticity and low SFA, MAG-based fats can be applicable in the production of some fatty-based products like bakery margarine and all-purpose shortening.

Due to the necessity of reduction in SFA content and TFA content in fatty-based products, researchers and producers have prompted to identify the applicable techniques for producing healthy fats. This study was set up in order to introduce the structured fats with low-SFA/TFA suitable in the formulation of shortenings and margarine.

**Keywords:** Low-saturated Shortening, Oleogel, Monoacylglycerol, Polyglycerol ester, Physicochemical properties, Rheological properties.

1 Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

2 Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, PO Box: 578.

(\*Corresponding Author Email: v.hakimzadeh@yahoo.com)