



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

تهیه امولسیون ساختار یافته آب در روغن (W/O) کم - اشباع بدون ترانس بر پایه روغن کانولا و اولئوژلاتور های لیپیدی به عنوان جایگزین کره

محمد رزم پور^{۱*}، جمشید فرمانی^۲، جعفر محمد زاده میلانی^۳، تیمور محمدی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۳- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۴- دکترای علوم و صنایع غذایی، نایب رئیس هیات مدیره و مدیر عامل شرکت روغنکشی خرمشهر، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳

کلمات کلیدی:

روغن کانولا،

امولسیون،

هسته پالم،

گلیسرول،

سوربیتان،

اولئوژل

این مطالعه به بررسی تولید و ارزیابی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O) کم اشباع و بدون اسید چرب ترانس بر پایه روغن کانولا و اولئوژلاتور های لیپیدی به عنوان جایگزین کره پرداخته است. این پژوهش تلاش نمود تا با بهره گیری از روغن کانولا، که دارای میزان کمتری اسید های چرب اشباع و میزان بیشتری اسید های چرب غیر اشباع نظیر اسید لینولنیک و اسید اولئیک است، امولسیون هایی را ایجاد کند که از نظر ارزش تغذیه ای و عملکردی، مشابه یا برتر از نمونه های تجاری کره باشند. در این پژوهش، از استتارین هسته پالم به عنوان جزء سخت و دو نوع امولسیفایر شامل گلیسرول مونو استئارات و سوربیتان مونو استئارات استفاده شده است. امولسیون های تهیه شده تحت تأثیر متغیر های مختلفی مانند میزان استتارین هسته پالم، نوع امولسیفایر و نسبت روغن به آب قرار گرفتند و خصوصیات آن ها از جمله ترکیب اسید های چرب، پایداری حرارتی، پایداری فیزیکی و خصوصیات بافتی و حسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش درصد استتارین هسته پالم منجر به افزایش سختی و پایداری حرارتی امولسیون ها شده، در حالی که انتخاب نوع امولسیفایر تأثیر بسزایی بر روی پایداری فیزیکی و اکسایشی داشت. همچنین، نمونه های حاوی سوربیتان مونو استئارات در مقایسه با گلیسرول مونو استئارات، پایداری فیزیکی بیشتری داشتند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد که امولسیون های ساختار یافته تولید شده با این روش می توانند به عنوان جایگزین مناسبی برای کره در کاربردهای غذایی مورد استفاده قرار گیرند، بدون اینکه کیفیت حسی و عملکردی محصول نهایی تحت تأثیر قرار گیرد. این تحقیق نشان دهنده ظرفیت زیاد روغن های گیاهی اصلاح شده در تولید محصولات غذایی سالم و با کیفیت مناسب است.

DOI:10.22034/FSCT.22.162.199.

* مسئول مکاتبات:

mh_razmpour@yahoo.com

۱- مقدمه

کره یکی از فرآورده های لبنی است که دارای مصارف متنوعی می باشد. با این حال، در زمینه تولید کره دو موضوع دارای اهمیت زیادی می باشد: (۱) وجود محدودیت در زمینه تولید و بسته بندی آن و (۲) حضور میزان زیادی اسید های چرب اشباع در آن [۲،۱]. بنابراین، با توجه به اینکه منابع ارزان و همچنین دارای ارزش تغذیه ای مناسب برای تولید جایگزین برای کره بصورت فراوان در دسترس است، لازم است توجه بیشتری به تولید جایگزین های کره معطوف گردد. بطور معمول مارگارین (کره گیاهی) - که در تهیه آن بجای چربی شیر از منابع گیاهی استفاده می گردد- جایگزین کره می باشد [۴،۳]. در دهه های گذشته، روغن های هیدروژنه شده نسبی با میزان بیشتری از اسید های چرب ترانس (بیشتر از میزان ۲۰ درصد)، در تهیه و تولید مارگارین ها مورد استفاده قرار گرفته اند [۵]. امروزه بر اساس استاندارد های موجود، بیشینه مجاز اسید های چرب ترانس در مارگارین های با مصرف خانگی ۱-۲ درصد و در مارگارین قنادی صنعتی ۵ درصد می باشد [۶،۳]. علاوه براین، این محصولات می توانند حاوی حداکثر ۳۵ درصد (در مورد پخشینه)، ۳۷ درصد (در مورد مارگارین پخت و پز)، ۴۸ درصد (در مورد مارگارین سفره) یا ۶۵ درصد (در مورد مارگارین قنادی) اسید های چرب اشباع باشند. واضح است که اگرچه در زمینه حذف اسید های چرب ترانس از فرآورده های روغن و چربی اقدام مناسبی انجام گرفته است، اما این فرآورده ها هنوز حاوی میزان بیشتری اسید های چرب اشباع می باشند. بنابراین کاهش میزان اسید های چرب اشباع همچنان یکی از چالش های موجود در زمینه تولید مارگارین هاست [۶،۵].

از گذشته از روش های مختلفی به منظور تغییر ویژگی های فیزیکی روغن ها/ چربی ها و مناسب کردن آنها برای مصارف مختلف استفاده شده است که از جمله آنها می توان هیدروژنه کردن، ایتر استریفیکاسیون^۱، جزء به جزء کردن، مخلوط کردن و اولئوژلاسیون/ ساختار دهی را نام برد. در بین روش های فوق، اولئوژلاسیون/ ساختاردهی روشی جدیدتری است که امکان تغییر حالت روغن از مایع به جامد را با حداقل (یا حتی بدون) دستکاری ترکیب اسید های چرب روغن پایه فراهم می کند. اولئوژلاسیون در واقع روشی است که در آن روغن های مایع در یک شبکه که توسط اولئوژلاتور ها ایجاد شده را محبوس نموده و در نهایت ساختاری مشابه ژل ایجاد می شود [۸،۷]. به طور کلی، سیستم های ساختار دهی شده را می توان به دو گروه سیستم های تک فاز - که تنها حاوی فاز روغنی بوده و معروف به اولئوژل یا روغن ساختار یافته هستند و سیستم های دو فاز - که حاوی فاز های روغنی و آبی بوده و معروف به امولسیون های ساختار یافته می باشند تقسیم بندی نمود. سیستم های دو فاز - روغن - آب می تواند به طور کلی در سه گروه اصلی دسته بندی شوند: امولسیون های با فاز پیوسته آبی ساختار یافته با زیست پلیمر ها (مانند پروتئین ها و پلی ساکارید ها) که هم به عنوان امولسیفایر و هم عوامل غلیظ / ژل کننده عمل می کنند؛ امولسیون های با فاز پیوسته آبی بسیار غلیظ که در آنها ساختار دهی در نتیجه نزدیک شدن قطرات بسیار زیاد پراکنده ایجاد می شود؛ و امولسیون های با فاز پیوسته روغنی ساختار یافته بوسیله شبکه بلوری ذرات چربی [۹]. در میان این سه گروه، محصولات مبتنی بر امولسیون های بر پایه روغن می توانند از روش های ساختار دهی روغن بیشترین بهره را ببرند، زیرا چربی جامد نقش بسزایی در بافت این محصولات دارد.

پژوهش های مختلفی در زمینه استفاده اولئوژل در زمینه تهیه جایگزین های کره انجام شده است. Hwang و همکاران (۲۰۱۳) به تهیه مارگارین بر پایه موم و روغن سویا پرداختند؛ نتایج این تحقیق نشان داده است که نوع اولئوژلاتور در ایجاد خصوصیات مارگارین تاثیرگذار می باشد؛ بطوری که نمونه های حاوی موم آفتابگردان دارای بیشترین سختی نسبت به سایر نمونه ها بودند [۱۰]. در پژوهش انجام شده توسط Ögütçü و Yılmaz (۲۰۱۵) با استفاده از دو نوع موم و همچنین دو نوع منبع روغنی اقدام به تهیه محصولات جایگزین کره ای شده است؛ نتایج نشان داده است که هر دو گروه تهیه شده نتایج مشابهی بخصوص در زمینه ویژگی حسی در مقایسه با نمونه های کره و مارگارین تجاری داشتند [۱۱]. در پژوهش انجام شده توسط Gaudino و همکاران (۲۰۱۹) جهت استفاده دو نوع ژلاتور در زمینه تهیه محصولات نیمه جامد، محققان به این نتیجه رسیدند که بر همکنش دو نوع هیدروژلاتور (لستین سویا و اسید استئاریک) می تواند منجر به سختی بیشتر در نمونه شد [۱۲]. Silva و همکاران (۲۰۲۱) به تهیه مارگارین بر اساس اولئوژل های حاوی درصد چربی مختلف (۳۵ و ۶۰ درصد) پرداختند، نتایج نشان داد که نمونه های حاوی ۶۵ درصد چربی دارای حالت سختی بیشتر، پخش پذیری کمتر و همچنین پایداری حرارتی بیشتری نسبت به نمونه شاهد (مارگارین ۶۰ درصد چربی) بودند [۱۳]. در پژوهش انجام شده توسط Naeli و همکاران (۲۰۲۲) در زمینه تهیه شورتینگ های کم اشباع بر پایه اولئوژل با استفاده از دو نوع اولئوژلاتور (اتیل سلولز و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز)، روغن آفتابگردان و پالم استئارین، آنها با استفاده از روش بهینه سازی سطح پاسخ موفق به کاهش درصد اسیدهای چرب اشباع تا ۱۵/۱۹ درصد در شورتینگ شدند که خیلی کمتر از اشباعیت نمونه های تجاری (۵۸/۴۷-۶۵/۸۷ درصد) بودند. با این حال، اگرچه برخی خصوصیات شورتینگ

کم اشباع (نقطه ذوب، سفتی و رئولوژیکی) نسبت به نمونه های شاهد میزان کمی بیشتری داشتند، اما محتوای چربی جامد^۲ و همچنین پایداری اکسایشی آنها کمتر بود [۱۴].

این پژوهش با هدف طراحی امولسیون ساختار یافته کم اشباع از روغن کانولا به عنوان روغن پایه برای ساخت امولسیون انجام شد. در میان روغن های گیاهی، روغن کانولا دارای خصوصیات قابل توجهی مثل حضور میزان کم اسید های چرب اشباع (کمتر از ۱۲ درصد)، میزان بیشتری اسید لینولنیک (حدود ۸ درصد) و میزان بیشتری از اسید اولئیک (۶۰ درصد) بوده که این موضوع بیانگر ارزش تغذیه ای و مصرفی آن می باشد. علاوه بر این، روغن کانولا با قیمت مناسب و به طور فراوان در دسترس می باشد [۱۵، ۴]. بنابراین، با توجه به موارد ذکر شده، روغن کانولا منبع مناسبی جهت تهیه مارگارین می باشد. در این مقاله همچنین اثر متغیرهای فرمولاسیونی بر ویژگی های امولسیون ساختار یافته، تاثیر میزان جزء سخت^۳ (استئارین هسته پالم)، نوع امولسیفایر و نسبت فاز روغنی بررسی شده است.

۲-مواد و روش ها

۲-۱-مواد

روغن کانولای تصفیه شده و نمونه کره تجاری از فروشگاه های در ساری، ایران خریداری شد. استئارین هسته پالم (PKS) از شرکت PT Wilmar، اندونزی تهیه شد. امولسیفایر گلیسرول مونو استئارات از شرکت آرایشی - بهداشتی کیا شیمی یاسوج، ایران تهیه شد. امولسیفایر سوربیتان مونو استئارات از شرکت محصولات دانش بنیان و صنایع خلاق ویتفا، ایران تهیه شد.

۲-۲- طرح پژوهش

3- Hardstock

2- Solid fat content (SFC)

امولسیون های تهیه شده در این پژوهش، امولسیون ساختار یافته آب در روغن بودند. اجزای بکار رفته در این نوع امولسیون ها شامل: (۱) روغن کانولا (روغن پایه)، (۲) استئارین هسته پالم (جزء سخت)، (۳) گلیسرول مونو استئارات و سوربیتان مونو استئارات (امولسیفایر) و (۴) آب (نقش فاز آبی) بودند. در این نوع امولسیون از درصد ثابت ۷ درصد امولسیفایر و دو سطح ۷ و ۱۰ درصد استئارین هسته پالم استفاده شد. علاوه بر این درصد فاز کل روغنی (روغن کانولا + استئارین هسته پالم) در ۳ سطح ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد تعیین گردید. در این پژوهش از طرح فاکتوریل کامل برای بررسی تاثیر مجزای هر فاکتور به تنهایی، تاثیر دوتایی و تاثیر کلی فاکتور ها برای هر نوع آزمون استفاده شد.

۲-۳- تهیه نمونه امولسیون ساختار یافته آب در روغن (W/O)

تهیه امولسیون های آب در روغن ساختار یافته با استفاده از روش ارائه شده توسط Garcia-Ortega (۲۰۲۱) انجام شد [۱۶]. توزین نمونه ها با ترازوی الکتریکی انجام شد. ابتدا فاز روغنی کل توزین و سپس تحت حرارت تا دمای ۷۰ درجه سانتی گراد با استفاده از دستگاه هیتر همزن قرار گرفت. البته همزمان با فاز روغنی کل، فاز آبی نیز بصورت جداگانه تحت شرایط حرارتی مشابه قرار گرفت. امولسیفایر در میزان ثابت مورد نظر (۷ گرم) توزین، به فاز روغنی کل افزوده و تحت شرایط همزنی - دمایی بصورت rpm ۳۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه تحت دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. در ادامه پس از انجام شرایط مذکور، از ظرف حاوی فاز روغنی کل - امولسیفایر به میزان ۴۰ درصد جدا شده، به آن فاز آبی را افزوده و تحت شرایط همزنی - دمایی ذکر شده قرار داده شد. البته ۶۰ درصد فاز روغنی کل - امولسیفایر نگهداری شد. در

ادامه مخلوط ۴۰ درصد فاز روغنی کل - امولسیفایر + فاز آبی در ظرف استوانه ای شکل مناسب جهت انجام همگن سازی تحت تیمار با دستگاه اولتراتوراکس (Heidolph Instruments GmbH & Co., KG, Germany) قرار گرفت. قدرت مورد استفاده اولتراتوراکس جهت انجام همگن سازی به میزان rpm ۲۰۰۰۰ به مدت ۳۰ ثانیه بود. پس از همگن سازی، ۶۰ درصد مخلوط فاز روغنی کل - امولسیفایر به نمونه همزن شده افزوده، و با استفاده از یک همزن دیجیتال در یک حمام آب و یخ هم زده شد. شرایط همزنی در این قسمت بصورت rpm ۱۹۰ به مدت ۱۰ دقیقه بود تا دمای نمونه به ۲۰ درجه سانتی گراد کاهش یابد. پس از رسیدن به دمای ۲۰ درجه سانتی گراد (تکمیل کریستالیزاسیون نمونه)، نمونه از حمام آب و یخ برداشته شد و در ادامه نمونه تحت شرایط همزنی مذکور (rpm ۱۹۰ به مدت ۱۰ دقیقه) قرار گرفت. در نهایت ظرف حاوی نمونه در شرایط فریزر تا زمان انجام آزمون های مربوطه نگهداری شد.

۲-۴- روش های آزمون امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

۲-۴-۱- آنالیز ترکیب اسید چرب امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

جهت بررسی ترکیب اسید های چرب از دستگاه کروماتوگرافی گازی و طبق استاندارد AOCS به شماره هایی Ce 1-91 (۱۹۹۶) و Ce 2-66 (۱۹۹۶) استفاده شد [۱۷]. دستگاه کروماتوگرافی گازی (شیمادزو، مدل ECD۲۰۱۴، ژاپن) مجهز به ستونی با مشخصات معین (30 m × 0.25 mm ID × 0.25 μm) و از نوع موئینه با عنوان RTX-WAX بود. نمونه به میزان ۱ میکرولیتر

با نسبت اسپلیت به میزان ۱۵۰ تزریق شد. دمای قسمت تزریق کننده در 250°C و دمای آشکارساز در 280°C تنظیم شد. نیتروژن بعنوان گاز حامل به میزان ۱/۲۶ میلی لیتر بر دقیقه تزریق شد. برنامه دمایی برای آنالیز نمونه شامل: شروع از دمای 155°C و نگهداری در دمای مذکور به مدت ۳ دقیقه؛ افزایش دما تا 220°C با نرخ $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ و در نهایت نگهداری در دمای نهایی ب مدت ۶۰ دقیقه بود. سرانجام نرم افزار دستگاه، پیک ها و درصد های مربوط به اسیدهای چرب را گزارش داد.

۲-۴-۲- تعیین خصوصیات حرارتی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

جهت بررسی آنالیز حرارتی نمونه ها از روش گرماسنجی روبشی افتراقی^۵ (SANAF model 400, Electronic Industries, Tehran, Iran) استفاده شد. ۱۵-۲۰ میلی گرم نمونه در ظروف مربوط به دستگاه توزین و در محفظه دستگاه قرار داده شد. در ادامه نمونه ها در دامنه دمایی ۲۵-۹۵ درجه سانتی گراد با نرخ حرارتی دهی / خنک کردن ۱۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه آنالیز شدند. در نهایت خصوصیات حرارتی بصورت ΔH ، T_{onset} ، T_{peak} و T_{offset} گزارش شد [۱۸]. تعیین نقطه ذوب لغزشی با استفاده از روش لوله موئینه باز و استاندارد AOCS به شماره Cc 3-25 انجام شد [۱۷].

۲-۴-۳- خصوصیات بافتی و اکسایشی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

۲-۴-۳-۱- اندازه گیری سختی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

اندازه گیری بافت امولسیون ها (خصوصیت سختی) با استفاده از دستگاه بافت سنج TA-XT2i (Stable

Microsystems, Godalming, UK) و نیروی نفوذی انجام شد [۱۱]. اندازه گیری ها در دمای محیط (25°C) درجه سانتی گراد) و پروب استفاده شده از نوع شیشه ای با ابعاد مشخص ($4 \times 4 \times 4$ سانتی متر) بود. سرعت پروب دستگاه برای نفوذ در نمونه بصورت ۳ میلی متر بر ثانیه بود. پروب به میزان ۲۳ میلی متر در نمونه نفوذ کرد و سرعت جداسدن پروب ۱۰ میلی متر بر ثانیه بود. در نهایت بیشترین میزان نیروی نفوذی بعنوان سختی (g force) در نظر گرفته شد.

۲-۴-۳-۲- پایداری اکسایشی-اکسی تست^۶ امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

پایداری اکسایشی با استفاده از روش اکسی تست طبق استاندارد AOCS، به شماره Cd 12c-16 (۱۹۹۶) و دستگاه Oximeter (Velp Scientifica, Usmate, Italy) تعیین شد [۱۷]. ۱۰ گرم نمونه در ظروف مربوط به دستگاه توزین و در محفظه دستگاه قرار گرفت. نمونه ها در دستگاه در معرض دمای ۹۰ درجه سانتی گراد و فشار اکسیژن ۶ بار قرار گرفتند. دوره القا^۷ توسط نرم افزار دستگاه ارائه شد و بعنوان میزان پایداری اکسایشی (بر حسب ساعت) گزارش شد.

۲-۴-۳-۲- پایداری های فیزیکی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

۲-۴-۳-۱- پایداری سانتیفرژی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

جهت بررسی پایداری سانتیفرژی نمونه ها از دستگاه سانتیفرژ (Hermle Laboratechnik, GmbH, type: Z 366, Germany) استفاده شد. جهت بررسی پایداری در برابر سانتیفرژ، ابتدا به میزان ۵ گرم نمونه (WA) در داخل لوله پلاستیکی با حجم مشخص (۵۰ میلی

7 -Induction period (IP)

5- Differential scanning calorimetry (DSC)

6- Oxitest

معادله زیر (معادله ۳) و با توجه به S (شاخص سدیمانتاسیون)، CS (پایداری یخچالی)، H (ارتفاع فاز روغنی جدا شده در قسمت بالای لوله)، H₀ (ارتفاع اولیه امولسیون در لوله) محاسبه شد.

$$S \text{ or } CS (\%) = (H/H_0) * 100 \quad (3)$$

۲-۴-۵- بررسی خصوصیات حسی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

جهت بررسی خصوصیات حسی از روش امتیازدهی استفاده شد. ۷ خصوصیت حسی بررسی، میزان امتیاز ۰ بعنوان کمترین و امتیاز ۱۰ بعنوان بیشترین در نظر گرفته شد. خصوصیات حسی در شرایط محیطی (۲۵ درجه سانتی گراد)، به کمک افراد به همراه نمونه کره تجاری، تکه های سیب و لیوان آب (جهت پاک سازی نمونه)، انجام شد [۱۱].

۳- تجزیه و تحلیل آماری

تمامی تیمارها در این پژوهش در سه تکرار انجام شد. بررسی تاثیر تکی، دوتایی و سه تایی فاکتور های این پژوهش، با استفاده از طرح فاکتوریل کامل و نرم افزار Minitab Inc., State College,) Minitab16 (PA, USA انجام شد. سطح معنی داری بصورت ۹۵ درصد (۰.۰۵) مورد استفاده قرار گرفت و نتایج بصورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شد.

۴- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیب اسیدهای چرب امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

عواملی مانند نوع پایه روغنی، نوع عوامل ساختاردهی/ امولسیفایری و میزان بکار گیری اجزاء می توانند بر ترکیب اسید های چرب موثر باشند [۲۲،۳]. بر اساس جدول ۱،

لیتری) توزین شد. سپس لوله های حاوی نمونه در معرض شرایط سانتریفوژی مشخص (۳۶۰۰rpm، ۳۰ دقیقه و ۲۵ درجه سانتی گراد) قرار گرفتند [۱۹]. پس از شرایط مذکور، قسمت فاز جدا شده را حذف، قسمت باقیمانده نمونه را توزین (W_B) و در نهایت میزان پایداری سانتریفوژی بر اساس معادله زیر تعیین شد (معادله ۱).

$$CS (\%) = (W_B / W_A) \times 100 \quad (1)$$

۲-۴-۵- افت روغن امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

جهت بررسی شاخص افت روغن از روش توزین کاغذ صافی استفاده شد [۲۰]. ۱۰ گرم از هر نمونه (W_s) بصورت جداگانه بر روی کاغذ صافی (واتمن نمره ۴) از پیش توزین شده (W_{before})، توزین شد. پس از ۴ ساعت نگهداری در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی گراد)، نمونه از کاغذ صافی جدا شده و کاغذ صافی توزین شد (W_{after}). بر اساس معادله زیر (معادله ۲)، میزان افت روغن برای هر نمونه محاسبه شد.

$$\text{Oil loss } (\%) = (W_{\text{after}} - W_{\text{before}}) / W_s \times 100 \% \quad (2)$$

۲-۴-۵- پایداری یخچالی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

جهت بررسی پایداری یخچالی (شاخص سدیمانتاسیون)، از روش نگهداری نمونه ها در شرایط یخچالی (۴ درجه سانتی گراد) و تغییرات ارتفاع نمونه ها در ظروف نگهداری استفاده شد [۲۱]. جهت بررسی پایداری یخچالی، نمونه ها در لوله های پلاستیکی با حجم مشخص (۱۵ میلی لیتری)، به میزان ۱۰ گرم توزین و در ادامه با پارافیلیم (Neenah, WI 54956, Bemis Flexible) (Packaging) درزبندی شد. نمونه ها در شرایط یخچالی (۴ درجه سانتی گراد) و در جا لوله ای به مدت ۹۰ روز نگهداری شدند. پایداری یخچالی در نهایت با استفاده از

کمتر از نمونه های ارائه شده بصورت ۲۴ درصد توسط Lumor و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین دامنه ۲۰/۱۷-۲۴/۹۳ درصد توسط Silva و همکاران (۲۰۲۱) بود [۱۳و۲۲].

بیشترین میزان اشباعیت مربوط به نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم بود؛ درحالیکه بیشترین میزان تک غیر اشباعیت، چند غیر اشباعیت و غیر اشباعیت کل مربوط به نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم بود. بر طبق جدول ۱، میزان اسید های چرب ترانس در کمترین میزان برای استئارین هسته پالم (۰/۰۳ درصد) و بیشترین میزان مربوط به کره تجاری (۰/۹۷ درصد) بود. مقایسه ترکیب اسید های چرب نمونه کره تجاری و نمونه های بر پایه ۷ و ۱۰ درصد استئارین هسته پالم نشان داد که نمونه های تهیه شده دارای میزان اشباعیت کمتر، غیر اشباعیت کل بیشتر و همچنین اسید های چرب ترانس کمتری نسبت به نمونه کره تجاری بود (جدول ۱).

استفاده از منابع روغنی گیاهی با میزان اشباعیت کم، میزان غیر اشباعیت زیاد و در حد مناسب (با توجه به نوع و میزان اسید های چرب موردنظر)، برای تهیه جایگزین های محصولات کره ای از نظر بخش سلامتی زایی و تغذیه ای دارای اهمیت زیادی می باشند [۱۳]. میزان اسید های چرب اشباع نمونه های ارائه شده در این پژوهش بسیار

Table 1 Fatty acid composition of canola oil (CO), palm kernel stearin (PKS), commercial butter (CB) and blends of CO and PKS

Fatty acids	CB	PKS	CO	CO:PKS (93:7)	CO:PKS (90:10)
C6:0	1.75±0.00	-	-	-	-
C8:0	1.10±0.01	1.88±0.00	-	0.13	0.19
C10:0	2.64±0.01	2.73±0.00	-	0.19	0.27
C12:0	3.38±0.01	54.33±0.00	-	3.80	5.43
C14:0	11.09±0.01	21.51±0.00	-	1.51	2.15
C14:1	0.14±0.00	-	-	-	-
C15:0	0.99±0.01	-	-	-	-
C15:1	0.19±0.00	-	-	-	-
C16:0	38.19±0.01	9.55±0.00	3.92±0.01	4.31	4.48
C16:1	1.68±0.00	-	-	-	-
C17:0	0.63±0.01	-	-	-	-
C17:1	0.20±0.00	-	-	-	-
C18:0	9.73±0.00	9.36±0.00	1.75±0.00	2.28	2.51
C18:1	24.74±0.02	0.60±0.00	56.71±0.00	52.78	51.10
C18:2	2.63±0.00	-	31.77±0.00	29.55	28.59
18:3	-	-	4.91±0.00	4.57	4.42
C22:0	-	-	0.29±0.01	0.27	0.26
SFA	69.43±0.13	99.37±0.01	5.96±0.00	12.50	15.30
MUFA	26.97±0.01	0.60±0.00	56.71±0.00	52.78	51.10
PUFA	2.63±0.00	-	36.68±0.00	34.11	33.01
UFA	29.60±0.00	0.60±0.00	93.39±0.00	86.89	84.11

TFA	0.97±0.00	0.03±0.00	0.65±0.00	0.61±0.00	0.60±0.00
-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Data are shown as means ± standard deviation of three replicates. SFA: sum of saturated fatty acids; MUFA: sum of monounsaturated fatty acids; PUFA: sum of polyunsaturated fatty acids; UFA: sum of unsaturated fatty acids; TFA: Trans fatty acids.

میزان T_{offset} به ترتیب بصورت $38/28^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استئارات) و $41/26^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استئارات)؛ کمترین میزان ΔH در حد $7/86 \text{ J/kg}$ (نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت روغنی ۶۰ به ۴۰ و به همراه گلیسرول مونو استئارات و نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استئارات) و بیشترین میزان ΔH در حد $9/68 \text{ J/kg}$ (نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استئارات) ثبت شد (جدول ۲).

به عبارت دیگر نتایج آنالیز حرارتی نشان داد که مصرف استئارین هسته پالم در میزان ۷ درصد، امولسیفایر سوربیتان مونو استئارات و نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد منجر به ایجاد خصوصیات حرارتی در حداقل میزان شد (جدول ۲). در مقابل، مصرف ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استئارات، منجر به تقویت خصوصیات حرارتی شد (جدول ۲). از نظر مقایسه خصوصیات حرارتی نمونه های تهیه شده با کره تجاری، نتایج نشان می دهد که خصوصیات حرارتی نمونه های امولسیونی در میزان کمتری نسبت به کره تجاری بود (جدول ۲). مقایسه خصوصیات حرارتی بر حسب امولسیفایر بطور کلی نشان داد که نتایج مربوط از نظر میزان در نزدیکی هم قرار داشته، اگرچه در برخی موارد تفاوت های اندکی وجود داشت (جدول ۲).

۲-۳- خصوصیات حرارتی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

۳-۲-۱- آنالیز حرارتی نمونه ها-روش گرماسنجی روبشی افتراقی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

نتایج مربوط به آنالیز حرارتی در جدول ۲، نشان داده شده است. آنالیز آماری داده های T_{onset} و T_{peak} حاکی از وجود تفاوت معنی دار بین نمونه ها ناشی از فاکتور ها و بر همکنش آنها (دوتایی و کلی) بود ($p < 0.05$). با این حال، آنالیز آماری داده های T_{offset} هیچ گونه تفاوت معنی داری را نشان نداد ($p > 0.05$). از نظر ΔH ، اثر برخی بر همکنش ها (شامل استئارین هسته پالم × نوع امولسیفایر؛ استئارین هسته پالم × نوع امولسیفایر × درصد فاز روغنی) معنی دار نبود ($p > 0.05$)، در صورتی که اثر سایر بر همکنش ها و اثر تکی فاکتور ها معنی دار بودند ($p < 0.05$).

کمترین و بیشترین میزان T_{onset} به ترتیب بصورت $19/20^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استئارات) و $29/46^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استئارات)؛ کمترین و بیشترین میزان T_{peak} به ترتیب بصورت $28/74^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استئارات) و $36/17^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استئارات)؛ کمترین و بیشترین

نمونه حاوی ۳۵ درصد فاز روغنی، دارای میزان خصوصیت T_{peak} کمتری بود [۱۳].

مصرف میزان آب بیشتری در نمونه ها، می تواند منجر به بهبود ساختار جامد در نمونه شده و در نهایت مقاومت به ذوب شدگی را نیز در نمونه ها ایجاد نماید [۱۳]. اولئوزل ها در تشابه با محصولات کره ای، دارای رفتار حرارتی مشابه هستند [۲۸]. برخی اولئوزل ها دارای خصوصیات حرارتی کمتری بودند، اگرچه دارای میزان بیشتری فاز آبی بودند [۱۳]. در برخی مواقع عوامل امولسیفایری دارای تاثیر زیادی در مقایسه با عوامل اولئوزلاتوری در بروز تفاوت خصوصیات حرارتی اولئوزل می باشند [۱۳]. گزارش شده که دو خصوصیت آنالیز حرارتی و همچنین حسی، در مناسب بودن نوع اولئوزل های جایگزین محصولات چربی گونه می تواند مدنظر قرار گیرند [۱۱].

خصوصیات حرارتی مربوط به اولئوزل ها با توجه به نوع و میزان اجزای اصلی و بطور ویژه عوامل اولئوزلاتوری/امولسیفایری می تواند متغیر باشد [۲۵،۲۴]. گزارش شده که عوامل اولئوزلاتوری (از جمله موم ها) دارای تاثیر متفاوتی بر خصوصیات حرارتی با توجه به نوع و درصد بکارگیری بودند [۲۶،۲۴]. گزارش شده که نمونه های ساخته شده با اولئوزلاتور اتیل سلولز میزان ΔH کمتر، اما پایداری حرارتی بیشتری نسبت به اولئوزل ساخته شده با اولئوزلاتور مومی داشتند [۲۷]. میزان اشباعیت منابع چربی / روغن جایگزین و همچنین عوامل ساختاردهنده، نیز بر خصوصیات حرارتی اولئوزل ها موثرند [۱۳]. در پژوهش انجام شده توسط Silva و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که نمونه های دارای میزان برابری از عوامل ساختاردهنده، خصوصیات حرارتی متفاوتی داشتند [۱۳]. Silva و همکاران (۲۰۲۱) همچنین گزارش دادند که در صورت استفاده از میزان مساوی عوامل ساختاردهنده، نمونه مارگارین حاوی ۶۰ درصد فاز روغنی نسبت به

Table 2 Thermal characteristics of the structured W/O emulsion samples

Sample code	Thermal characteristics				
	$T_{onset} (^{\circ}C)$	$T_{peak} (^{\circ}C)$	$T_{offset} (^{\circ}C)$	$\Delta H (J/kg)$	SMP ($^{\circ}C$)
P7GO60	19.23±0.00	28.77±0.00	38.32±0.00	7.86±0.00	38.35±0.01
P7SO60	19.20±0.00	28.74±0.00	38.28±0.00	7.86±0.00	38.33±0.00
P7GO70	19.32±0.00	28.86±0.00	38.40±0.01	7.89±0.00	38.39±0.00
P7SO70	19.26±0.00	28.80±0.00	38.34±0.00	7.87±0.00	38.37±0.00
P7GO80	19.45±0.00	29.01±0.00	38.56±0.00	7.94±0.01	38.45±0.00
P7SO80	19.40±0.00	28.90±0.00	38.41±0.00	7.90±0.00	38.43±0.00
P10GO60	28.12±0.00	34.61±0.00	41.13±0.00	9.46±0.00	41.17±0.01
P10SO60	28.12±0.00	34.61±0.00	41.13±0.00	9.46±0.00	41.16±0.01
P10GO70	28.40±0.00	36.17±2.31	41.20±0.00	9.52±0.00	41.23±0.01
P10SO70	28.36±0.00	34.77±0.00	41.19±0.00	9.51±0.00	41.21±0.00
P10GO80	28.53±0.00	35.44±0.00	41.26±0.00	9.68±0.00	41.28±0.00
P10SO80	29.46±0.00	35.34±0.00	41.23±0.01	9.66±0.00	41.26±0.00
CB	36.64±0.00	49.53±0.00	60.42±0.00	166.82±0.00	35.89±0.00

Data are shown as means $\pm$ standard deviation of three replicates. T_{onset} = Initial temperature of melting; T_{peak} = Peak temperature; T_{offset} = Final temperature of melting; ΔH = Enthalpy of the peak; SMP= Slip melting point; PG/SO= Palm kernel stearin, Glycerol monostearate/Sorbitan monostearate, Oil ratio (P7&10% and O 60, 70&80%); CB= Commercial butter.

۳-۲-۲- نقطه ذوب لغزشی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

نتایج مربوط به نقطه ذوب لغزشی در جدول ۲، نشان داده شده است. در بررسی آنالیز آماری مربوط به نقطه ذوب، نتایج نشان از وجود تاثیر معنی دار ($p < 0.05$) برای فاکتور ها (استئارین هسته پالم، نوع امولسیفایر و نسبت فاز روغنی) داشت. آنالیز آماری نقطه ذوب همچنین نشان داد که برهمکنش آنها (دوتایی و کلی)، تاثیر معنی دار بر نقطه ذوب نداشتند ($p > 0.05$). کمترین و بیشترین میزان نقطه ذوب لغزشی از نظر درصد اجزای روغنی (استئارین هسته پالم - روغن کانولا)، به ترتیب بصورت $38/33^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استئارات) و $41/28^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استئارات) بود (جدول ۲).

نقطه ذوب لغزشی در نمونه های تهیه شده به کمک امولسیفایر گلیسرول مونو استئارات، در کمترین میزان بصورت $38/35^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استئارات) و بیشترین میزان بصورت $41/28^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استئارات) بود (جدول ۲). همچنین نقطه ذوب لغزشی نمونه های ساخته شده با امولسیفایر سوربیتان مونو استئارات، در حد کمترین میزان بصورت $38/33^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استئارات) و حداکثر میزان بصورت $41/26^{\circ}\text{C}$ (نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استئارات) بود (جدول ۲).

در بررسی نقطه ذوب لغزشی بر حسب نسبت روغن به فاز آبی مشخص شد که نمونه های حاوی نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد در مقایسه با نمونه ۸۰ به ۲۰ درصد، دارای نقطه ذوب لغزشی کمتری بودند (جدول ۲). طبق جدول ۲، نقطه ذوب لغزشی مربوط به نمونه های بر پایه گلیسرول مونو استئارات برای هر دو نسبت استئارین هسته پالم (۷ و ۱۰ درصد) و همچنین هر سه نسبت فاز روغنی به آبی (۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد) در میزان بیشتری بود. میزان نقطه ذوب لغزشی به عوامل مختلفی بستگی دارد، دلیل تفاوت موجود میان نتایج نقطه ذوب لغزشی نمونه های پژوهش حاضر با نمونه های تجاری می تواند بدلیل نوع و میزان بکارگیری اجزاء در تهیه نمونه های نهایی باشد [۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۳۲].

نقطه ذوب بیشتر می تواند بدلیل سطح کمتر غیر اشباعیت و اسید های چرب اشباع با طول زنجیر کربنی بلندتر باشد [۳۱]. نقطه ذوب در واقع شاخصی مهم در تعیین محصولات مناسب بعنوان جایگزین محصولات کره ای محسوب می شود [۲۹]. نقطه ذوب نشان دهنده امکان ذوب با کمک گرمای دهان در هنگام مصرف می باشد [۳۱، ۳۲]. دامنه نقطه ذوب استاندارد مربوط به مارگارین اسپرد بصورت $33-37^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی گراد بوده و در دمای دهان به هنگام مصرف بدون هیچگونه کار مکانیکی شروع به پخش شدگی و ذوب می کند [۲۹، ۳۰]. Bentayeb و Ait Lounis و همکاران (۲۰۱۸) در مقایسه انواع مارگارین الجزایری دریافتند که بر اساس نوع و مصرف، دارای نقطه ذوب لغزشی متفاوتی (دامنه $35-46^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی گراد) می باشند [۳۲].

۳-۳- خصوصیات بافتی و اکسایشی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

۳-۳-۱- سختی بافت امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

نتایج مربوط به سختی (خصوصیت بافتی) در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج آنالیز آماری نشان داد که فاکتور ها (استئارین هسته پالم؛ نوع امولسیفایر و درصد فاز روغنی)، همچنین بر همکنش ها (دو تایی و کلی)، دارای تاثیر معنی دار بر سختی بودند ($p < 0.05$). بر این اساس، نتایج مربوط به سختی بافت نشان می دهد که افزایش میزان استئارین هسته پالم (از ۷ به ۱۰ درصد) منجر به افزایش سختی شده است. نتایج سختی بطور کلی نشان داد که کمترین سختی مربوط به نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، گلیسرول مونواستئارات و نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و بیشترین سختی مربوط به نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، سوربیتان مونواستئارات و نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد بود (جدول ۳). نتایج سختی از نظر اثر نوع امولسیفایر نشان داد که بیشترین سختی در نمونه های تهیه شده از امولسیفایر گلیسرول مونواستئارات مربوط به نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم بود؛ در صورتی که برای امولسیفایر سوربیتان مونواستئارات بیشترین سختی مربوط به نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم بود (جدول ۳). امولسیون های ساختار یافته تهیه شده در پژوهش حاضر از نظر سختی بافت با نمونه های تجاری در تفاوت بودند (جدول ۳).

شاخص سختی بافت، در واقع یکی از شاخص های مهم در زمینه پذیرش محصولات کره ای توسط مصرف کنندگان می باشند [۳۳]. بر اساس تحقیقات گذشته، تفاوت بافتی از نظر سختی در مورد نمونه های کره و مارگارین وجود دارد؛ بطوریکه برخی مارگارین ها دارای سختی بیشتری نسبت به کره می باشند [۱۰]. سختی بافت نمونه های اولئوژل می تواند در تشابه با کره و مارگارین و حتی در تفاوت باشد [۳۳]. اجزای سازنده اولئوژل ها

دارای تاثیر مختلفی بسته به نوع و میزان اجزاء بر سختی نمونه های اولئوژل می باشند [۳۳]. Bascuas و همکاران (۲۰۱۹) به تهیه اسپرد شکلاتی بر پایه اولئوژل پرداختند، گزارش دادند در صورتی که اسپرد ها بصورت ترکیبی با استفاده از روغن نارگیل، روغن زیتون و آفتابگردان تهیه شوند دارای سختی بیشتری می باشند [۳۳]. همچنین میزان سختی نمونه های اولئوژل بر پایه روغن نارگیل - روغن زیتون نسبت به نمونه روغن نارگیل - روغن آفتابگردان در میزان بیشتری قرار داشت [۳۳].

گزارش شده که نمونه های محصولات جایگزین بر پایه اولئوژل بر پایه یک نوع روغن/ چربی پایه + روغن/ چربی جایگزین شده (با توجه به درصد جایگزینی و نوع منبع)، دارای میزان سختی بافت بیشتری می باشند [۳۳]. نمونه های دارای سختی بیشتر در پژوهش تهیه اسپرد شکلاتی بر پایه اولئوژل انجام شده توسط Bascuas و همکاران (۲۰۱۹)، دارای تشابه با نمونه های دارای سختی بیشتر در پژوهش حاضر بودند [۳۳]. Kupiec و همکاران (۲۰۲۰)، اولئوژل حاوی روغن دانه کدو تهیه نموده و گزارش دادند که اولئوژل های بر پایه موم زنبورعسل ضعیف تر بوده، در صورتی که نمونه های بر پایه موم کارنوبا خصوصیت ویسکوالاستیک قوی تر، نگهداری روغن بیشتر و حالت سفتی بیشتر داشتند [۳۴]. طبق جدول ۳، رابطه مستقیمی میان افزایش اجزای مورد استفاده (بررسی جداگانه بر اساس نوع امولسیفایر و افزایش اجزای روغنی) و شاخص سختی نمونه وجود داشت. در پژوهش انجام شده توسط Dadalı و Elmacı (۲۰۱۹) در بررسی تاثیر میزان چربی و امولسیفایر بر مارگارین دریافتند که افزایش نسبت بخش روغنی در مارگارین منجر به افزایش میزان سختی نمونه ها می شود [۳۵].

Table 3 Physicochemical properties, physical stability and oxidative stability of structured W/O emulsion samples

Sample code	Physical Stabilities
-------------	----------------------

	Textural properties- Hardness (g force)	Oxidation stability- Oxitest (h)	CS (%)	OL (%)	RS (%)
P7GO60	59.96±0.15	1.12±0.00	100.00±0.00	0.91±0.01	0.00±0.00
P7SO60	84.02±0.09	4.23±0.00	100.00±0.00	2.03±0.06	0.00±0.00
P7GO70	38.03±0.06	8.29±0.00	100.00±0.00	1.04±0.13	0.00±0.00
P7SO70	130.86±0.41	11.04±0.00	98.80±0.01	1.22±0.08	4.37±0.00
P7GO80	35.10±0.10	12.30±0.00	100.00±0.00	2.44±0.04	0.00±0.00
P7SO80	153.01±0.08	13.17±0.00	100.00±0.00	2.68±0.04	0.00±0.00
P10GO60	84.70±0.01	3.15±0.00	100.00±0.00	0.93±0.06	0.00±0.00
P10SO60	100.99±0.00	5.32±0.00	100.00±0.00	2.12±0.02	2.50±0.10
P10GO70	53.50±0.00	11.58±0.00	100.00±0.00	1.12±0.11	0.00±0.00
P10SO70	158.06±0.05	12.05±0.00	100.00±0.00	1.15±0.01	3.75±0.01
P10GO80	49.80±0.00	12.31±0.06	100.00±0.00	2.10±0.11	0.00±0.00
P10SO80	185.02±0.59	15.18±0.00	98.00±1.00	2.65±0.05	5.00±1.00
CB	193.45±0.00	41.61±0.00	100.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00

Data are shown as means $\pm$ standard deviation of three replicates. CS=Centrifugal stability; OL=Oil loss; RS=Refrigerator stability; PG/SO=Palm kernel stearin+ Glycerol monostearate/Sorbitan monostearate+ Oil ratio (P7&10% and O 60, 70&80%); CB=Commercial butter.

۳-۲-۳- پایداری اکسایشی بر پایه اکسی تست امولسیون

های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

نتایج مربوط به پایداری اکسایشی بر پایه روش اکسی تست، در جدول ۳ نشان داده شده است. آنالیز آماری مربوط به اکسی تست نشان داد که تمامی فاکتور ها و بر همکنش آنها (دوتایی و کلی)، دارای تاثیر معنی دار ($p < 0.05$) بودند. میزان پایداری اکسایشی با افزایش نسبت استئارین هسته پالم افزایش یافت (جدول ۳). بر این اساس کمترین میزان پایداری اکسایشی مربوط به نمونه حاوی ۷ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استئارات و بیشترین پایداری اکسایشی مربوط به نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ و به همراه سوربیتان مونو استئارات بود.

نتایج پایداری اکسایشی بطور کلی نشان داد که در صورت مصرف میزان بیشتر و مناسب جزء سخت (استئارین هسته پالم) و امولسیفایر سوربیتان مونو استئارات، پایداری

اکسایشی بهتر و مناسب تری در نمونه های مورد نظر مشاهده خواهد شد. طبق جدول ۳، میزان پایداری اکسایشی نمونه کره تجاری نسبت به نمونه های تهیه شده بیشتر بود. پایداری اکسایشی بیشتر، می تواند بدلیل میزان اشباعیت بیشتر در ترکیب اسید چرب باشد [۳۲]. شاخص پایداری اکسایشی همچنین می تواند تحت تاثیر ساختار شیمیایی اولئوژلاتور ها در تهیه نمونه ها قرار گیرد [۳۴]. در مقایسه خصوصیات مربوط به ترکیب اسید چرب و پایداری اکسایشی چند نمونه مارگارین الجزایری انجام شده توسط Bentayeb Ait Lounis و همکاران (۲۰۱۸)، نتایج بطور کلی نشان داد که بیشترین پایداری اکسایشی مربوط به نمونه های دارای بیشترین میزان اشباعیت بود [۳۲]. Kupiec و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی اثر نوع ترکیب مومی بر پایداری اکسایشی اولئوژل های حاوی روغن کلزا، دریافتند که نمونه اولئوژل حاوی موم آفتابگردان دارای بیشترین میزان پایداری اکسایشی (۶/۸ ساعت) نسبت به سایرین بود و بنابراین نشان دادند

که نوع اولئوزلاتور می تواند بر پایداری اکسایشی تاثیرگذار باشد [۳۴].

۳-۴- پایداری های فیزیکی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

۳-۴-۱- پایداری سانتیفرژی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

نتایج مربوط به پایداری نمونه ها در برابر سانتیفرژ در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج آنالیز آماری پایداری سانتیفرژی نشان داد که فاکتور استتارین هسته پالم و برهمکنش استتارین هسته پالم $\times$ نوع امولسیفایر تفاوت معنی دار نداشتند ($p > 0.05$)؛ در حالی که سایر فاکتورها و برهمکنش آنها تاثیر معنی دار بر پایداری سانتیفرژی داشتند ($p < 0.05$). طبق جدول ۳، کمترین پایداری سانتیفرژی به میزان ۹۸/۸۰ درصد (نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استتارات) و ۹۸ درصد (نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استتارات) ثبت شد. با این حال، سایر نمونه ها دارای پایداری مناسب سانتیفرژی (۱۰۰ درصد) بودند. به عبارت دیگر، نمونه های دارای پایداری سانتیفرژی کمتر مربوط به نمونه های حاوی امولسیفایر سوربیتان مونواستتارات بودند.

از نظر پایداری سانتیفرژی، میان نمونه های پایدار موجود در پژوهش حاضر و نمونه کره تجاری تشابه وجود داشت (جدول ۳). اولئوزل های تهیه شده از روغن کانولا حاوی موم کاندلیلا توسط Kupiec و همکاران (۲۰۲۰)، دارای پایداری سانتیفرژی مشابه با نمونه های حاوی مونو آسیل گلیسرول مربوط به پژوهش حاضر بودند [۳۴]. نوع اولئوزلاتور می تواند تاثیر متفاوتی بر پایداری سانتیفرژی داشته باشد [۳۴]. در تهیه اولئوزل های بر پایه روغن کلزا، پایداری سانتیفرژی بر پایه موم ها به ترتیب به صورت موم کاندلیلا (۹۹/۶۷ درصد)، موم زنبور عسل (۹۷/۸۰

درصد) و موم زنبور عسل زرد (۸۹/۳۰ درصد) بود [۳۴]. یکی از دلایل تفاوت نتایج نمونه های دارای پایداری سانتیفرژی کمتر مربوط به پژوهش حاضر با سایر پژوهش ها می تواند به دلیل روش مورد استفاده برای تعیین پایداری سانتیفرژی (10000 rpm) به مدت ۵ دقیقه و همچنین میزان اجزای سازنده اولئوزل باشد. بر اساس نتایج برخی پژوهش های انجام شده، نوع ژلاتور، نوع روغن و میزان اجزاء بر پایداری سانتیفرژی موثرند [۳۶، ۳۴].

در پژوهش انجام شده در زمینه تهیه امولسیون پر شده با ژل بر پایه روغن زیتون-اینولین و تیمار فراصوت توسط Nourbehesht و همکاران (۲۰۱۶)، بر خلاف پژوهش حاضر هیچ نمونه پایداری مشاهده نشد [۳۶]. در پژوهش تهیه امولسیون روغن در آب (O/W) بر پایه روغن کانولا و صمغ زانتان توسط Putra و همکاران (۲۰۲۰)، نتایج نشان داد که پایداری سانتیفرژی تمام نمونه ها کمتر از ۱۰۰ درصد بود که از این نظر مشابه با نمونه های دارای پایداری کمتر در پژوهش حاضر بود [۳۷]. در پژوهش تهیه سوسیس فرانکفورتر بر پایه جایگزین چربی توسط Wolfer و همکاران (۲۰۱۸)، نتایج پایداری سانتیفرژی مشابه با نمونه های کم پایدار در پژوهش حاضر وجود داشت [۳۸]. دلایل تفاوت در نتایج پایداری سانتیفرژی می تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند نوع امولسیون/ اولئوزل، شرایط سانتیفرژی (قدرت، زمان و دما)، روش محاسبه پایداری سانتیفرژی و نوع و میزان اجزای سازنده باشد. مشتقات سلولزی (از جمله اتیل سلولز) به عنوان اولئوزلاتور، تاثیر خوبی در زمینه پایداری اولئوزل ها دارند. برخی اولئوزلاتور ها تاثیر منفی در زمینه پایداری سانتیفرژی دارند. به طور کلی میتوان گفت که بین طول زنجیره های کربنی و پایداری سانتیفرژی رابطه مستقیمی وجود دارد [۳۹].

۳-۴-۲- افت روغن امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

نتایج مربوط به افت روغن نمونه‌ها در جدول ۳، نشان داده شده است. نتایج آنالیز آماری مربوط به افت روغن نشان داد که فاکتور استتارین هسته پالم و همچنین بر همکنش استتارین هسته پالم $\times$ نوع امولسیفایر فاقد تاثیر معنی دار ($p > 0.05$) بودند. در صورتی که سایر فاکتورها و همچنین سایر بر همکنش‌ها بر افت روغن تاثیر معنی دار داشتند ($p < 0.05$). میزان افت روغن مربوط به نمونه‌های این پژوهش در حد زیر ۳ درصد بود. طبق جدول ۳، کمترین میزان شاخص افت روغن بصورت ۰/۹۱ درصد (نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استتارات) و بیشترین بصورت ۲/۶۸ درصد (نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استتارات) بود. میزان شاخص افت روغن بر اساس امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات، بصورت حداقل ۰/۹۱ درصد (نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استتارات) و حداکثر ۲/۴۴ درصد (نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه گلیسرول مونو استتارات) بود (جدول ۳). همچنین میزان شاخص افت روغن برای امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات بصورت کمترین میزان ۱/۱۵ درصد (نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استتارات) و بیشترین میزان بصورت ۲/۶۸ درصد (نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استتارات) بود (جدول ۳). نتایج شاخص افت روغن نشان داد که استفاده از نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد منجر به افزایش میزان افت روغن شده است (در حضور هر دو امولسیفایر)؛ در صورتی که فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ درصد در مورد امولسیفایر سوربیتان مونو

استتارات و همچنین نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد برای امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات منجر به شاخص افت روغن در حداقل میزان شده است (جدول ۳). میزان شاخص افت روغن برای نمونه‌های بر پایه سوربیتان مونو استتارات نسبت به گلیسرول مونو استتارات با توجه به مقایسه هر نسبت روغنی، در میزان بیشتری قرار داشت (جدول ۳). البته با وجود مصرف استتارین هسته پالم در دو درصد مجزا (۷ و ۱۰ درصد) نتایج مربوط به شاخص افت با توجه به در نظرگیری نوع امولسیفایر و همچنین نسبت فاز روغنی به آبی از نظر میزان نزدیک هم بودند (جدول ۳). میزان شاخص افت روغن در نمونه کره تجاری با نمونه‌های پژوهش حاضر متفاوت بود (جدول ۳).

افت روغن یکی از روش‌های بررسی پایداری محصولات چربی گونه از جمله کره می باشد [۲۰]. نمونه دارای پایداری بیشتر از نظر شاخص افت روغن، نمونه ای است که دارای حداقل میزان شاخص مورد نظر باشد [۲۰]. وجود تفاوت در افت روغن‌ها در نمونه‌ها می تواند متأثر از نوع نمونه‌ها و روش اندازه گیری باشد [۴۰]. عوامل مهم و تاثیرگذار بر افت روغن شامل اجزای اولئوژل (نوع و میزان)، روش تهیه اولئوژل و شرایط نگهداری (دما و زمان) می باشند [۴۱]. در پژوهش انجام شده در مورد تهیه اولئوژل‌های خوراکی بر پایه ۳ نوع روغن خوراکی (زیتون، آفتابگردان و بزرک) و دو عامل ساختار دهنده (هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و صمغ زانتان) توسط Bascuas و همکاران (۲۰۱۹)، نتایج مربوط به شاخص افت روغن با توجه شرایط آزمون (نگهداری در ۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۵ روز)، نوع و درصد اجزای مورد استفاده دارای تفاوت با نتایج پژوهش حاضر (بیشتر بودن نتایج پژوهش مذکور نسبت به حاضر) بود [۳۳]. برخی پژوهش‌ها گزارش دادند که افت روغن کمتر مربوط به نمونه‌هایی بوده که میزان گلیسرول مونو استتارات کمتر و میزان اولئوژلاتور بیشتری داشتند [۲۵، ۴۰]. در پژوهش

تهیه اولئوژل بر پایه روغن هسته انگور، موم کاندلیلا و امولسیفایر گلیسرول مونواستئارات توسط Choi و همکاران (۲۰۲۰)، مشخص شد که میزان بکارگیری اجزای سازنده اولئوژل بر شاخص افت روغن موثر بوده است، بطوری که کمترین میزان شاخص افت روغن مربوط به نمونه حاوی میزان بیشتر موم (۷۵ درصد) و میزان کمتر امولسیفایر (۲۵ درصد) بود [۴۰].

در پژوهش انجام شده در زمینه تهیه شورتینگ جایگزین برای خامه پرکننده بر پایه روغن کانولا، موم کاندلیلا و گلیسرول مونو استئارات [۴۱]، نتایج بدست آمده نشان داد که در صورت تهیه نمونه ها بر اساس یک اولئوژلاتور (موم کاندلیلا یا گلیسرول مونو استئارات)، میزان شاخص افت روغن بیشتر بود. نتایج پژوهش تهیه اولئوژل حاوی روغن هسته انگور-موم کاندلیلا-گلیسرول مونواستئارات [۴۰] و پژوهش تهیه شورتینگ جایگزین برای خامه پر کننده [۴۱]، دارای تشابه با نتایج مربوط به پژوهش حاضر بویژه در زمینه نمونه های بر پایه گلیسرول مونو استئارات برای شاخص افت روغن بودند. پژوهشی به منظور تهیه یک محصول چربی با استفاده از روغن کلزا، مونوگلیسرید، روغن کلزای کاملاً "هیدروژنه، لسیتین و تیمار صوتی انجام شد، نتایج نشان داد که نوع، درصد مصرفی و ترکیب اجزاء با هم منجر به ایجاد شاخص افت روغن در حد مناسب شدند [۴۲].

da Silva و Danthine (۲۰۲۲) گزارش دادند که شاخص افت روغن برای اولئوژل های حاوی ترکیب سه تایی ژلاتور (مونو گلیسرید+روغن کلزا تمام هیدروژنه + لسیتین)، دارای میزان کمتری نسبت به نمونه های حاوی ترکیب دوتایی ژلاتوری (مونو گلیسرید + لسیتین؛ مونو گلیسرید + روغن کلزا تمام هیدروژنه؛ روغن کلزا تمام هیدروژنه + لسیتین) بود [۴۲]. نتایج مربوط به پژوهش تهیه اولئوژل های حاوی یک، دو و سه نوع ژلاتور [۴۲]، دارای نتایج مشابه بویژه در زمینه نمونه های بر پایه ترکیب دوتایی لسیتین - روغن کلزا کاملاً "هیدروژنه و ترکیب سه

تایی (مونو گلیسرید+روغن کلزا تمام هیدروژنه + لسیتین) با نمونه های پایدار از نظر افت روغن مربوط به پژوهش حاضر بود. در پژوهشی با استفاده از روغن کلزا، ترکیب مساوی مونوگلیسرید - لسیتین و ترکیب مونوگلیسرید - روغن کلزای کاملاً "هیدروژنه به همراه استفاده از تیمار صوتی، نتایج نشان داد که در صورت استفاده / عدم استفاده از تیمار صوتی میزان شاخص افت روغن بیشتری در ترکیب دوتایی مونوگلیسرید - لسیتین نسبت به ترکیب دیگر بود و نشان دهنده این بود که علاوه بر درصد اولئوژلاتور، نوع ترکیب اجزاء با هم نیز در ایجاد نتایج شاخص افت روغن نیز تاثیرگذار می باشد [۴۲].

در پژوهش انجام شده با هدف تهیه مارگارین بر پایه اولئوژل حاوی چربی کم و زیاد، نتایج نشان داد که میزان شاخص افت روغن نمونه ها تحت تاثیر اولئوژلاتور (نوع و درصد مصرفی)، میزان فاز چربی (۳۵ و ۶۰ درصد) و روش آزمون (نگهداری ۱۸۰-۰ روز در ۵ درجه سانتی گراد) قرار داشت [۱۳]. علت تفاوت نتایج شاخص افت پژوهش حاضر با پژوهش تهیه مارگارین حاوی اولئوژل کم چربی و پر چربی [۱۳]، می تواند بدلیل استفاده از اجزای متفاوت و همچنین نوع روش اندازه گیری شاخص افت روغن در پژوهش مذکور باشد [۲۰]. انتظار می رود میان میزان فاز روغنی و میزان عددی شاخص افت رابطه مستقیمی وجود داشته باشد؛ در صورتی که در پژوهش انجام شده روی تهیه ۴ نوع مارگارین با دو سطح میزان چربی (۳۵ و ۶۰ درصد) بر پایه اولئوژل رابطه متفاوتی را نشان داد [۱۳]. در پژوهش تهیه مارگارین بر پایه اولئوژل های حاوی ۳۵ و ۶۰ درصد چربی، میزان شاخص افت روغن برای نمونه ها از نظر میزان کمی بصورت ۶۰ درصد چربی - اجزای ساختاردهی کم < نمونه های ۳۵ درصد چربی - اجزای ساختاردهی متوسط < نمونه ۶۰ درصد چربی - اجزای ساختاردهی بیشتری، بودند [۱۳]. نتایج مربوط به شاخص افت روغن مربوط به پژوهش مارگارین بر پایه اولئوژل [۱۳]، نشان می دهد که نوع اجزاء، درصد

مصرفی اجزاء و همچنین ترکیب اجزاء با هم منجر به تفاوت نتایج مربوط به شاخص افت روغن گردد.

۳-۴-۳- پایداری یخچالی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

نتایج مربوط به پایداری یخچالی در جدول ۳، نشان داده شده است. آنالیز آماری نشان داد که تمامی فاکتور ها و بر همکنش هایشان (دوتایی و کلی)، تاثیر معنی دار ($p < 0.05$) بر پایداری یخچالی داشتند. پایداری یخچالی نمونه های پایدار با عدد صفر و نمونه های دارای پایداری کمتر بصورت عددی بزرگتر از صفر گزارش شده است (جدول ۳). بر این اساس، تنها نمونه های حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت های فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد و به همراه سوربیتان مونو استتارات و همچنین تمامی نمونه های بر پایه گلیسرول مونو استتارات دارای پایداری یخچالی مناسب (عدد صفر) بودند. در پژوهش حاضر، دو گروه نمونه شامل: ۱) دارای امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات + ۷ یا ۱۰ درصد استتارین هسته پالم + نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد و ۲) دارای امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات + ۷ درصد استتارین هسته پالم + نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد، دارای پایداری یخچالی مناسبی بودند (جدول ۳). نمونه های دارای پایداری در حد متوسط (حدود ۲/۵۰ درصد) شامل: نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ درصد و امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات و نمونه های با پایداری نامناسب/پایداری حداقلی (حدود ۵/۰۰ درصد) شامل: نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ درصد و امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات بودند (جدول ۳). به این ترتیب، نتایج پایداری یخچالی نشان داد که در صورت استفاده از نسبت های مختلف فاز

روغنی به آبی (۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد)، استتارین هسته پالم (۷ و ۱۰ درصد) و امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات، حالت پایداری در تمامی نمونه ها مشاهده خواهد شد (جدول ۳). از سوی دیگر، نتایج پایداری یخچالی مربوط به امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات نشان داد که تنها بکارگیری نسبت های فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ و ۸۰ به ۲۰ به همراه ۷ درصد استتارین هسته پالم، منجر به ایجاد حالت پایدار در نمونه ها خواهد شد (جدول ۳). نتایج پایداری یخچالی مربوط به نمونه های پژوهش حاضر با نمونه کره تجاری دارای حالت تشابه بود (جدول ۳). البته یک مورد استثناء وجود داشته که مربوط به پایداری یخچالی نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم و سوربیتان مونو استتارات، با نسبت روغن به آب ۷۰ به ۳۰ درصد (۳/۷۵ درصد) بوده و می تواند ناشی از این باشد که بکارگیری نسبت فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ درصد منجر به حالت ناپایداری بر خلاف سایر نسبت های دیگر (۶۰ به ۴۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد) شده است. بر خلاف نمونه های دارای پایداری یخچالی بخصوص بر پایه گلیسرول مونو استتارات، نتایج مربوط به نمونه های ناپایدار نشان داد که استفاده از نسبت فاز روغنی به آبی (۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد) به همراه بکارگیری ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، بصورت روند افزایشی منجر به افزایش ناپایداری (از نظر شاخص نگهداری در شرایط یخچالی) می گردد.

در پژوهش انجام شده توسط Sun و همکاران (۲۰۰۷) در زمینه تاثیر صمغ زانتان و ایزوله پروتئینی آب پنیر بر پایداری سازی امولسیون روغن در آب (O/W)، نتایج نشان داد که رابطه ای معکوس میان غلظت مصرفی هیدروژلاتور زانتان و میزان ناپایداری (لخته شدن)^۸ در نمونه وجود دارد [۴۳]. پژوهشی نمونه های امولسیون ژلی را به حالت های پایدار (عدم حضور زانتان)، پایداری متوسط (۱۵/۰۲-۰/۰

درصد وزنی زانتان)، ناپایدار (۰/۲ درصد وزنی زانتان) و همچنین لخته شدن جزئی / عدم لخته شدن (۰/۵ درصد وزنی زانتان) تقسیم بندی کرده است [۴۳]. برخی امولسیون ها دارای پایداری مناسبی بوده، اما افزایش مدت زمان نگهداری منجر به ناپایداری آنها شده است [۲۱]. گزارش شده که نوع هیدروژلاتور، درصد بکارگیری آن و نوع نمونه تولیدی در پایداری نمونه نهایی تاثیرگذار بوده و با توجه به میزان بکارگیری عامل هیدروژلاتوری، حالت های مختلفی از جمله عدم بروز حالت لخته ای (پایداری مناسب)، حالت لخته ای در حد ضعیف و محدود (شروع ناپایداری) و بروز حالت لخته ای مشهود (حالت ناپایدار) در نمونه امولسیونی ظاهر می شود [۴۳]. در زمینه تاثیر نوع و غلظت مناسب ماده مصرفی در تهیه اولئوژل، میان نتایج پایداری یخچالی مربوط به مصرف زانتان در کنار ایزوله پروتئینی آب پنیر برای امولسیون روغن در آب (O/W) با پژوهش حاضر شباهت وجود دارد [۴۲]. در مورد امولسیون های آب در روغن (W/O) حاوی پلی گلیسرول پلی ریسینولات، میزان پایداری در اثر نگهداری کاهش یافته است؛ اما در صورت استفاده از ژل های کازئینی در تهیه امولسیون، میزان پایداری بدست آمده نسبت به حالت قبل بیشتر بود [۲۱].

ناپایداری امولسیون ها می تواند تحت تاثیر نسبت فاز آبی و روغنی قرار داشته باشد [۴۴]. پژوهشی با هدف پایداری سازی امولسیون ها با استفاده از موم مایع (روغن جوجوبا)، موم جامد گیاهی (موم کارنوبا)، دو نوع موم جامد معدنی (موم پارافین و کرسین) و روغن پارافین انجام شد؛ نتایج نشان داد که حالت پایداری (عدم وجود انعقاد و جدا شدگی فاز)، تنها در صورت مصرف میزان مناسبی از موم های مختلف به همراه نسبت مناسب آب به روغن مشاهده شد [۴۵]. گزارش شده که موم های جامد معدنی منجر به ایجاد امولسیون های آب در روغن شده؛ در صورتی که امولسیون های سه گانه روغن-آب-روغن توسط موم جامد گیاهی ایجاد می شوند [۴۵]. گزارش شده که

جداشدگی فاز در امولسیون های حاوی روغن جوجوبا-موم کارنوبا (تاثیرگذار بر پایداری امولسیون) مشاهده می شود، که دلیل این رخداد می تواند بخاطر ویژگی نم پذیری زیاد سطوح مربوط به موم کارنوبا به روغن جوجوبا باشد، که منجر به ناپایداری سطوح موم شده و در نهایت ناپایداری امولسیون را ایجاد نماید [۴۵]. در پژوهش انجام شده در تهیه امولسیون های دو گانه (W/O) و سه گانه (O/W/O) بر پایه درصد های مختلف موم (۳۰-۵ درصد) و ۳ نسبت آب-روغن (۷۰:۳۰، ۸۰:۲۰ و ۹۰:۱۰) توسط Szumala و Luty (۲۰۱۶)، نتایج نشان داد که نوع و میزان موم به کار رفته و همچنین نسبت فاز آبی به فاز روغنی دارای تاثیر قطعی بر میزان پایداری یخچالی می باشند، بطوریکه نتایج پایداری با توجه به نوع موم، درصد موم و نسبت فاز آبی به فاز روغنی متفاوت بود [۴۵]. بیشتر بودن نسبت روغن، انتخاب مناسب نوع و درصد مصرفی اجزای ژلاتوری منجر به ایجاد حالت پایداری مناسب در نمونه های اولئوژلی می شود [۲۱، ۲۹ و ۴۵]. پژوهشی نشان داد که موم (نوع و درصد مصرفی) و نسبت فاز آبی و روغنی بر پایداری امولسیون ها تاثیر داشت، بطوری که نتایج مربوط به امولسیون های پایدار با نسبت فاز آبی به روغنی ۱۰ به ۹۰ درصد مربوط به موم پارافین (۱۰ تا ۳۰ درصد)، موم کرسین (۱۵، ۲۵ و ۳۰ درصد) و موم کارنوبا (۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) بود [۴۵]. نتایج پژوهش انجام شده در زمینه بررسی پایداری امولسیون های دو گانه (W/O) و سه گانه (O/W/O) بر پایه چند نوع موم [۴۵]، دارای شباهت با پژوهش حاضر در زمینه نمونه های پایدار از نظر یخچالی شامل: ۱) براساس گلیسرول مونو استئارات + ۷ و ۱۰ درصد استئارین هسته پالم و هر سه نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد؛ ۲) بر اساس سوربیتان مونو استئارات + ۷ درصد استئارین هسته پالم و نسبت های فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد، بود. در پژوهش تهیه امولسیون های دو گانه (W/O) و سه گانه (O/W/O) بر پایه موم، نتایج مربوط به پایداری یخچالی بصورت تایید (+) و عدم تایید (-)

گزارش شد [۴۵]. در پژوهش امولسیون دو گانه و سه گانه، رابطه ای معکوس میان پایداری نمونه ها با میزان فاز آبی مورد استفاده در تهیه امولسیون ها وجود داشت [۴۵].

گزارش شده است که رابطه مستقیمی میان پایداری امولسیون با درصد مناسب هیدروژلاتور زانتان وجود دارد، اما در صورتی که از میزان مناسب زانتان عبور گردد منجر به ناپایداری می گردد [۴۳]. برخی پژوهش ها گزارش دادند که مصرف میزان بیشتری از ژلاتور/امولسیفایر، منجر به ایجاد ناپایداری در امولسیون های تولیدی می شود [۲۱، ۲۹ و ۴۵]. در پژوهش انجام شده بر پایه مارگارین حاوی اولئوژل های کم چربی و پرچربی، نتایج نشان داد که اولئوژلاتور های مومی با ایجاد سدهایی اطراف ذرات امولسیونی منجر به ایجاد پایداری مناسب می گردد [۱۳].

۳-۵- خصوصیات حسی امولسیون های ساختار یافته آب در روغن (W/O)

نتایج مربوط به خصوصیات حسی در جدول ۴ نشان داده شده است. آنالیز آماری نتایج پخش پذیری، میزان ذوب شدگی، ترشیدگی و پوشش دهی دهان نشان از وجود اثر معنی دار ($p < 0.05$) برای تمامی فاکتورها و بر همکنش هایشان (دوتایی و کلی) داشت. در مورد خصوصیت شیری بودن، آنالیز آماری عدم معنی دار بودن ($p > 0.05$) برهمکنش استتارین هسته پالم × نوع امولسیفایر × درصد فاز روغنی را نشان داد. علاوه بر این، آنالیز آماری عدم وجود تفاوت معنی دار ($p > 0.05$) برای فاکتور استتارین هسته پالم و همچنین بر همکنش استتارین هسته پالم × نوع امولسیفایر × درصد فاز روغنی، را در مورد خصوصیت سختی نشان داد. در مورد خصوصیت چربی ماندی آنالیز آماری اثر معنی دار ($p < 0.05$) دو فاکتور استتارین هسته پالم و نوع امولسیفایر و همچنین بر همکنش استتارین هسته پالم × درصد فاز روغنی را نشان داد.

بررسی نتایج آنالیز حسی نشان داد که کمترین و بیشترین میزان سختی بترتیب مربوط به نمونه حاوی ۷ درصد

استتارین هسته پالم و امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ و نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم و امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات با نسبت های فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ می باشد. نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم و امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ ضعیف ترین و نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۸۰ قوی ترین ویژگی پخش پذیری را نشان دادند. در مورد ویژگی میزان ذوب شدگی کمترین میزان مربوط به نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ و بیشترین میزان مربوط به نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ بود. ضعیف ترین ویژگی شیری در نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ و قویترین در نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ مشاهده شد. ویژگی ترشیدگی در نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ کمترین امتیاز و در نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۷۰ به ۳۰ بیشترین امتیاز را کسب کرد. ویژگی چربی ماندی در نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ ضعیف ترین و در نمونه حاوی ۷ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر گلیسرول مونو استتارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ قویترین بود. بالاخره این که نمونه حاوی ۱۰ درصد استتارین هسته پالم، و امولسیفایر سوربیتان مونو استتارات

با نسبت فاز روغنی به آبی ۸۰ به ۲۰ کمترین و نمونه حاوی ۱۰ درصد استئارین هسته پالم، و امولسیفایر سوربیتان مونو استئارات با نسبت فاز روغنی به آبی ۶۰ به ۴۰ بیشترین امتیاز از نظر ویژگی پوشش دهی دهان را کسب کردند (جدول ۴). از نظر مقایسه، خصوصیات حسی کره تجاری نسبت به نمونه های پژوهش حاضر، امتیازات بیشتری کسب کرد (جدول ۴).

دو مورد از شاخص های مهم در زمینه محصولات کره ای و اسپرد، سختی و پخش پذیری می باشد که نسبت به سایر شاخص ها از اهمیت بیشتری (بخصوص پذیرش مصرف کننده) برخوردار می باشند [۲۸]. بررسی خصوصیات حسی جایگزین های کره می تواند بسته به نوع و میزان بکارگیری اجزای سازنده (چربی / روغن جایگزین، عوامل امولسیفایری / اولئوزلاتوری)، دارای نتایج متفاوتی باشد [۴۶]. Ögütçü و Yılmaz (۲۰۱۵) رابطه عکسی میان خصوصیات سختی و پخش پذیری گزارش کردند که از این نظر مشابه پژوهش حاضر می باشد [۱۱]. در پژوهش انجام شده توسط Ögütçü و Yılmaz (۲۰۱۴) در زمینه تهیه اولئوزل بر پایه روغن زیتون بکر، موم کارنوبا و مونوگلیسرید بعنوان یک محصول پخش پذیر و نگهداری در دو دمای مختلف (۴ و ۲۰ درجه سانتی گراد)، نتایج نشان داد که افزایش میزان اولئوزلاتور منجر به افزایش شاخص سختی شد (مشابه با پژوهش حاضر)، بطوری که نمونه های بر پایه ۱۰ درصد موم کارنوبا نسبت به نمونه های ۳ درصد دارای سختی بیشتر بودند [۲۸]. در غنی سازی کره بر پایه روغن بزرک و همچنین ترکیب روغن بزرک-کنسانتره پروتئین آب پنیر، Nasirpour-Tabrizi و همکاران (۲۰۲۰) دریافتند که بکارگیری بیشتر اجزاء منجر به کاهش پخش پذیری می گردد [۴۷].

پژوهش انجام شده توسط Nasirpour-Tabrizi و همکاران (۲۰۲۰)، دارای نتایج متفاوت با پژوهش حاضر در زمینه رابطه میزان مصرفی اجزاء با میزان شاخص پخش پذیری داشت [۴۷]. در پژوهش حاضر با افزایش اجزاء در تمامی نمونه ها (بجز نمونه های بر پایه سوربیتان مونو استئارات و ۱۰ درصد استئارین هسته پالم)، رابطه مستقیمی میان شاخص پخش پذیری و درصد بکارگیری اجزاء وجود دارد (جدول ۶). در ایجاد خصوصیت پخش پذیری امولسیفایر گلیسرول مونو استئارات در هر دو درصد مصرفی استئارین هسته پالم (۷ و ۱۰ درصد)، منجر به ایجاد رابطه مستقیمی میان نتایج مربوط به پخش پذیری و نسبت های روغنی به آبی (۶۰ به ۴۰، ۷۰ به ۳۰ و ۸۰ به ۲۰ درصد) شد (جدول ۴). در صورتی که امولسیفایر سوربیتان مونو استئارات تنها در ۷ درصد استئارین هسته پالم رابطه مستقیمی را همانند گلیسرول مونو استئارات نشان داد (جدول ۴). نتایج پخش پذیری مربوط به سوربیتان مونو استئارات نشان داد که در صورت مصرف میزان کم استئارین هسته پالم (۷ درصد)، میزان پخش پذیری مناسبی در نمونه ها ایجاد شده؛ در صورت افزایش میزان جزء سخت و کمکی (استئارین هسته پالم از ۷ به ۱۰ درصد) منجر به ایجاد کاهش پخش پذیری و افزایش سفتی نمونه ها شد (جدول ۴). خصوصیات حسی مربوط به محصولات کره ای و پخش پذیر، با توجه به نوع و میزان منبع جایگزین (چربی / روغن جایگزین)، نوع و درصد اجزای سازنده و کمکی (هیدروژلاتور / اولئوزلاتور، امولسیفایر) و همچنین غلظت موثر مصرفی اجزاء می تواند قابل تغییر باشد.

Table 4 Sensory evaluation of the structured W/O emulsion samples prepared in this study (means±SD)

Sample name	Sensory evaluation						
	H	S	L	M	R	F	MC
P7GO60	4.23±1.66	0.66±0.01	0.40±0.00	0.85±0.00	0.14±0.00	2.16±0.05	2.51±0.01
P7SO60	3.86±0.05	1.25±0.00	1.85±0.00	0.82±0.01	0.13±0.00	2.26±0.02	2.75±0.00
P7GO70	5.76±0.41	2.13±0.02	3.81±0.01	0.92±0.02	0.11±0.00	2.75±0.00	2.91±0.00
P7SO70	4.27±0.01	1.35±0.01	2.25±0.01	0.95±0.00	0.17±0.00	2.65±0.00	2.72±0.01

P7GO80	4.62±1.14	1.00±0.10	4.11±0.01	0.46±0.01	0.19±0.00	3.00±0.17	2.96±0.00
P7SO80	4.17±0.06	2.23±0.05	3.36±0.11	0.61±0.01	0.13±0.00	2.86±0.02	2.81±0.01
P10GO60	4.10±0.17	0.85±0.01	0.71±0.01	0.83±0.04	0.12±0.00	2.81±0.01	3.51±0.00
P10SO60	6.13±0.02	7.73±0.02	8.13±0.11	0.65±0.00	0.23±0.01	2.53±0.02	3.66±0.01
P10GO70	7.71±0.01	5.43±0.05	5.95±0.01	0.52±0.02	0.28±0.00	2.23±0.02	2.76±0.00
P10SO70	7.97±0.02	6.13±0.02	5.45±0.00	0.45±0.01	0.26±0.00	2.36±0.01	2.61±0.01
P10GO80	7.11±0.01	8.06±0.05	6.10±0.01	0.65±0.00	0.21±0.00	2.57±0.01	2.54±0.00
P10SO80	7.65±0.00	5.75±0.00	5.71±0.01	0.74±0.00	0.22±0.00	2.41±0.01	2.41±0.01
CB	3.71±0.00	7.94±0.00	5.41±0.00	2.09±0.00	1.49±0.00	7.28±0.00	2.91±0.00

Data are shown as means $\pm$ standard deviation of three replicates. H=Hardness; S=Spreadability; L=Liquefaction; M= Milky; R=Rancid; F= Fatty; MC= Mouth coating; PG/SO=Palm kernel stearin, Glycerol monostearate/Sorbitan monostearate, Oil ratio (P7&10% and O 60, 70&80%); CB= Commercial butter.

۵- نتیجه گیری

اکسایشی مناسب، خصوصیات حسی مطلوبی نیز داشتند که می‌تواند منجر به پذیرش مصرف کنندگان شود. به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان داد که با استفاده از روغن‌های گیاهی نظیر روغن کانولا و روغن‌های نوین ساختار دهی، می‌توان محصولاتی با ارزش تغذیه‌ای بیشتر و خصوصیات فیزیکی و حسی مشابه یا حتی برتر از کره تولید کرد. این موضوع می‌تواند به‌طور قابل توجهی در کاهش مصرف چربی‌های اشباع و ترانس در رژیم‌های غذایی کمک کند. از این رو، تولید این نوع امولسیون‌ها می‌تواند به عنوان یک استراتژی مؤثر در صنعت غذا برای تولید محصولات سالم و با کیفیت از نظر تغذیه‌ای مورد توجه قرار گیرد.

۶- منابع

- [1] Panchal, B., & Bhandari, B. (2020). Butter and Dairy Fat Spreads. *Dairy Fat Products and Functionality*, 509–532. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41661-4_21
- [2] Bobe, G., Hammond, E. G., Freeman, A. E., Lindberg, G. L., & Beitz, D. C. (2003). Texture of Butter from Cows with Different Milk Fatty Acid Compositions. *Journal of Dairy Science*, 86(10), 3122–3127. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(03\)73913-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(03)73913-7)
- [3] Silva, T. J., Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2021). Margarines: Historical approach, technological aspects, nutritional profile, and global trends. *Food research international* (Ottawa, Ont.), 147, 110486. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110486>

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که امولسیون‌های ساختار یافته آب در روغن (W/O) کم اشباع و بدون اسید چرب ترانس، که با استفاده از روغن کانولا و اولئوژلاتورهای لیپیدی تهیه شده‌اند، پتانسیل زیادی برای جایگزینی کره در محصولات غذایی مختلف دارند. افزایش میزان استئارین هسته پالم در این امولسیون‌ها باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و حرارتی از جمله سختی و پایداری حرارتی شده است. همچنین، انتخاب نوع امولسیفایر تأثیر معنی داری بر پایداری فیزیکی و اکسایشی امولسیون‌ها داشت؛ به‌طور خاص، نمونه‌های حاوی سوربیتان مونو استئارات پایداری فیزیکی و اکسایشی بیشتری نسبت به نمونه‌های حاوی گلیسرول مونو استئارات نشان دادند. از سوی دیگر، این امولسیون‌ها علاوه بر داشتن پایداری فیزیکی و

- [4] Silva, T. J., Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2021). Oleogel-based emulsions: Concepts, structuring agents, and applications in food. *Journal of Food Science*, 86(7), 2785–2801. Portico. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15788>
- [5] Ajmal, M., Nadeem, M., Batool, M., & Khan, I. T. (2018). Review Probable Ingredients for Trans Free Margarine with Omega-3 Fatty Acids. *Biological Sciences - PJSIR*, 61(3), 182–186. <https://doi.org/10.52763/pjsir.biol.sci.61.3.2018.182.186>
- [6] Šoronja-Simović, D., Šereš, Z., Nikolić, I., Šimurina, O., Djordjević, M., & Maravić, N. (2017). Challenges related to the application of high and low trans margarine in puff pastry production. *Journal of*

- Food Processing and Preservation, 41(6), e13265. Portico. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13265>
- [7] Dassanayake, L. S. K., Kodali, D. R., & Ueno, S. (2011). Formation of oleogels based on edible lipid materials. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 16(5), 432–439. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2011.05.005>
- [8] Ristanti, E. Y., Loppies, J. E., Ramlah, S., Wahyuni, & Ariyanti, M. (2018). Preparation of restructured palm oil for industrial specialty fat using beeswax-cocoa butter as oleogelator. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.5082417>
- [9] Patel, A. R., & Dewettinck, K. (2016). Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food & Function*, 7(1), 20–29. <https://doi.org/10.1039/c5fo01006c>
- [10] Hwang, H., Singh, M., Bakota, E. L., Winkler-Moser, J. K., Kim, S., & Liu, S. X. (2013). Margarine from Organogels of Plant Wax and Soybean Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(11), 1705–1712. Portico. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2315-z>
- [11] Yılmaz, E., & Ögütçü, M. (2015). Oleogels as spreadable fat and butter alternatives: sensory description and consumer perception. *RSC Advances*, 5(62), 50259–50267. <https://doi.org/10.1039/c5ra06689a>
- [12] 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.021>
- [13] Silva, T. J., Fernandes, G. D., Bernardinelli, O. D., Silva, E. C. da R., Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2021). Organogels in low-fat and high-fat margarine: A study of physical properties and shelf life. *Food Research International*, 140, 110036. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110036>
- [14] Naeli, M. H., Milani, J. M., Farmani, J., & Zargaraan, A. (2022). Developing and optimizing low-saturated oleogel shortening based on ethyl cellulose and hydroxypropyl methyl cellulose biopolymers. *Food Chemistry*, 369, 130963. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130963>
- [15] Astiasarán, I., Abella, E., Gatta, G., & Ansorena, D. (2017). Margarines and Fast-Food French Fries: Low Content of trans Fatty Acids. *Nutrients*, 9(7), 662. <https://doi.org/10.3390/nu9070662>
- [16] García-Ortega, M. L., Toro-Vazquez, J. F., & Ghosh, S. (2021). Development and characterization of structured water-in-oil emulsions with ethyl cellulose oleogels. *Food Research International*, 150, 110763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110763>
- [17] AOCS 1996. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists, Society, Campaign, AOCS Press.
- [18] Wang, X., Wang, S., Nan, Y., & Liu, G. (2021). Production of Margarines Rich in Unsaturated Fatty Acids Using Oxidative-stable Vitamin C-Loaded Oleogel. *Journal of Oleo Science*, 70(8), 1059–1068. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20264>
- [19] Soddu, E., Rassu, G., Cossu, M., Giunchedi, P., Cerri, G., & Gavini, E. (2014). The effect of formulative parameters on the size and physical stability of SLN based on “green” components. *Pharmaceutical Development and Technology*, 21(1), 98–107. <https://doi.org/10.3109/10837450.2014.971376>
- [20] Dibildox-Alvarado, E., Rodrigues, J. N., Gioielli, L. A., Toro-Vazquez, J. F., & Marangoni, A. G. (2004). Effects of Crystalline Microstructure on Oil Migration in a Semisolid Fat Matrix. *Crystal Growth & Design*, 4(4), 731–736. <https://doi.org/10.1021/cg049933n>
- [21] Wang, P., Cui, N., Luo, J., Zhang, H., Guo, H., Wen, P., & Ren, F. (2016). Stable water-in-oil emulsions formulated with polyglycerol polyricinoleate and glucono- δ -lactone-induced casein gels. *Food Hydrocolloids*, 57, 217–220. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.013>
- [22] Lumor, S. E., Jones, K. C., Ashby, R., Strahan, G. D., Kim, B. H., Lee, G.-C., Shaw, J.-F., Kays, S. E., Chang, S.-W., Foglia, T. A., & Akoh, C. C. (2007). Synthesis and Characterization of Canola Oil–Stearic Acid-Based Trans-Free Structured Lipids for Possible Margarine Application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26), 10692–10702. <https://doi.org/10.1021/jf0710175>
- [23] da Silva, T. L. T., Chaves, K. F., Fernandes, G. D., Rodrigues, J. B., Bolini, H. M. A., & Arellano, D. B. (2018). Sensory and Technological Evaluation of Margarines With Reduced Saturated Fatty Acid Contents Using Oleogel Technology. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(6), 673–685. Portico. <https://doi.org/10.1002/aocs.12074>
- [24] Borriello, A., Masi, P., & Cavella, S. (2021). Novel pumpkin seed oil-based oleogels: development and physical characterization. *LWT*, 152, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112165>
- [25] Hwang, H., & Winkler-Moser, J. K. (2020). Properties of margarines prepared from soybean oil oleogels with mixtures of candelilla wax and beeswax. *Journal of Food Science*, 85(10), 3293–

3302. Portico. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15444>
- [26] Pang, M., Shi, Z., Lei, Z., Ge, Y., Jiang, S., & Cao, L. (2020). Structure and thermal properties of beeswax-based oleogels with different types of vegetable oil. *Grasas y Aceites*, 71(4), 380. <https://doi.org/10.3989/gya.0806192>
- [27] Qiu, H., Qu, K., Zhang, H., & Eun, J.-B. (2023). Characterization and comparison of physical properties and in vitro simulated digestion of multi-component oleogels with different molecular weights prepared by the direct method. *Food Hydrocolloids*, 142, 108850. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108850>
- [28] Yılmaz, E., & Ögütçü, M. (2014). Oleogels of virgin olive oil with carnauba wax and monoglyceride as spreadable products. *Grasas y Aceites*, 65(3), e040. <https://doi.org/10.3989/gya.0349141>
- [29] Luo, S.-Z., Hu, X.-F., Pan, L.-H., Zheng, Z., Zhao, Y.-Y., Cao, L.-L., Pang, M., Hou, Z.-G., & Jiang, S.-T. (2019). Preparation of camellia oil-based W/O emulsions stabilized by tea polyphenol palmitate: Structuring camellia oil as a potential solid fat replacer. *Food Chemistry*, 276, 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.161>
- [30] Aktas, A. B., & Ozen, B. (2021). Chemical and physical properties of fats produced by chemical interesterification of tallow with vegetable oils. *Grasas y Aceites*, 72(3), e418. <https://doi.org/10.3989/gya.0552201>
- [31] Karabulut, I., Turan, S., & Ergin, G. (2004). Effects of chemical interesterification on solid fat content and slip melting point of fat/oil blends. *European Food Research and Technology*, 218(3), 224–229. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0847-4>
- [32] Bentayeb Ait Lounis, S., Mekimène, L., Mazi, D., Hamidchi, T., Hadjal, S., Boualit, S., & Benalia, M. (2018). Nutritional quality and safety of Algerian margarines: Fatty acid composition, oxidative stability and physicochemical properties. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 11(3), 331–342. <https://doi.org/10.3233/mnm-18208>
- [33] Bascuas, S., Hernando, I., Moraga, G., & Quiles, A. (2019). Structure and stability of edible oleogels prepared with different unsaturated oils and hydrocolloids. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(4), 1458–1467. Portico. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14469>
- [34] Kupiec, M., Zbikowska, A., Marciniak-Lukasiak, K., & Kowalska, M. (2020). Rapeseed Oil in New Application: Assessment of Structure of Oleogels Based on their Physicochemical Properties and Microscopic Observations. *Agriculture*, 10(6), 211. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060211>
- [35] Dadalı, C., & Elmacı, Y. (2019). Characterization of Volatile Release and Sensory Properties of Model Margarines by Changing Fat and Emulsifier Content. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(6). Portico. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900003>
- [36] Nourbehesht, N., Shekarchizadeh, H., & Soltanizadeh, N. (2018). Investigation of stability, consistency, and oil oxidation of emulsion filled gel prepared by inulin and rice bran oil using ultrasonic radiation. *Ultrasonics sonochemistry*, 42, 585–593. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.12.029>
- [37] Putra, A. M., Syarifuddin, A., & Dirpan, A. (2020). Characterization pH, stability of emulsion, and viscosity canola oil (*Brassica napus* L.) emulsion (O/W). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 575(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/575/1/012007>
- [38] Wolfer, T. L., Acevedo, N. C., Prusa, K. J., Sebranek, J. G., & Tarté, R. (2018). Replacement of pork fat in frankfurter-type sausages by soybean oil oleogels structured with rice bran wax. *Meat science*, 145, 352–362. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.012>
- [39] Hwang, H.-S. (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>
- [40] Choi, K., Hwang, H., Jeong, S., Kim, S., & Lee, S. (2020). The thermal, rheological, and structural characterization of grapeseed oil oleogels structured with binary blends of oleogelator. *Journal of Food Science*, 85(10), 3432–3441. Portico. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15442>
- [41] Kim, M., Hwang, H.-S., Jeong, S., & Lee, S. (2022). Utilization of oleogels with binary oleogelator blends for filling creams low in saturated fat. *LWT*, 155, 112972. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112972>
- [42] da Silva, T. L. T., & Danthine, S. (2022). Influence of sonocrystallization on lipid crystals multicomponent oleogels structuration and physical properties. *Food Research International*, 154, 110997. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.110997>
- [43] Sun, C., Gunasekaran, S., & Richards, M. P. (2007). Effect of xanthan gum on physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 21(4), 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.06.003>

- [44] Mohamed, A. I. A., Sultan, A. S., Hussein, I. A., & Al-Muntasheri, G. A. (2017). Influence of Surfactant Structure on the Stability of Water-in-Oil Emulsions under High-Temperature High-Salinity Conditions. *Journal of Chemistry*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2017/5471376>
- [45] Szumala, P., & Luty, N. (2016). Effect of different crystalline structures on W/O and O/W/O wax emulsion stability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 499, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.04.022>
- [46] Paradiso, V. M., Giarnetti, M., Summo, C., Pasqualone, A., Minervini, F., & Caponio, F. (2015). Production and characterization of emulsion filled gels based on inulin and extra virgin olive oil. *Food Hydrocolloids*, 45, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.10.027>
- [47] Nasirpour-Tabrizi, P., Azadmard-Damirchi, S., Hesari, J., Khakbaz Heshmati, M., & Savage, G. P. (2020). Production of a spreadable emulsion gel using flaxseed oil in a matrix of hydrocolloids. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(8). Portico. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14588>



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Preparation of Structured Low-Saturated Water-in-Oil (W/O) Emulsion Based on Canola Oil and Lipidic Oleogelators as Butter Substitute

Mohammad Razmpour^{1*}, Jamshid Farmani², Jafar.M Milani³, Teimoor Mohammadi⁴

1- Ph.D. Student of the Department of Food Industry Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

2- Full Professor of the Department of Food Industry Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

3- Full Professor of the Department of Food Industry Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

4- PhD in Food Science and industry, Vice Chairman of the Board of Directors and Managing Director of Khorramshahr Oil Company, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2024/9/7

Accepted: 2025/1/22

Keywords:

Canola oil,
Emulsion,
Palm kernel,
Glycerol,
Sorbitan,
Oleogel

DOI: 10.22034/FSCT.22.162.199.

*Corresponding Author E-

Mh_razmpour@yahoo.com

ABSTRACT

This study investigates the production and evaluation of low-saturated, trans-fat-free water-in-oil (W/O) structured emulsions based on canola oil and lipidic oleogelators as a butter substitute. This research aims to create emulsions by utilizing canola oil, which is low in saturated fatty acids and high in unsaturated fatty acids such as linolenic and oleic acid, that are nutritionally and functionally comparable to or superior to commercial butter. In this study, palm kernel stearin used as the hard component, along with two types of emulsifiers: glycerol monostearate and sorbitan monostearate. Their properties were evaluated, including fatty acid composition, thermal stability, physical stability, and textural and sensory characteristics. The results showed that increasing the percentage of palm kernel stearin led to increasing for hardness and thermal stability of emulsions, while the choice of emulsifier type had a significant effect on physical and oxidative stability. Additionally, samples containing sorbitan monostearate showed higher physical stability compared to those with glycerol monostearate. The findings from this study suggests that the produced structured emulsions could serve as a suitable substitute for butter in the food applications without compromising the sensory and functional quality of the final product. This research highlights the high potential of modified vegetable oils for producing healthy and high-quality food products.