

## بررسی ویژگی های اولئوژل تهیه شده به روش قالب گیری امولسیون پیکرینگ پایدار شده با ذرات جامد کمپلکس صمغ دانه ریحان و ایزوله پروتئین سویا به عنوان جایگزین چربی در خامه

سیما ناجی طبسی<sup>۱</sup>، الهام مهدیان<sup>۲\*</sup>، اکرم آریان فر<sup>۲</sup>، سارا ناجی طبسی<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

۲- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران

\* نویسنده مسئول (elhamahdian@iauq.ac.ir)

۳- استادیار، گروه نانوفناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

### چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۳

### واژه های کلیدی

اولئوژل

پیکرینگ

خامه

قالب گیری امولسیون ژل

کمپلکس پروتئین-پلی ساکارید

باتوجه به نقش چندگانه چربی در فراورده های غذایی، لازم است از ترکیباتی به عنوان جایگزین چربی استفاده شود تا ویژگی های رئولوژیکی، بافت و حسی محصول کم چرب حفظ شود. در این تحقیق استفاده از ساختارهای اولئوژل جهت تولید محصول کم چرب مورد توجه قرار گرفته است. جهت تولید اولئوژل از روش غیرمستقیم قالب گیری امولسیون ژل پیکرینگ استفاده شد. در تهیه پیکرینگ ها از ایزوله پروتئین سویا (ISP) (1S:0B) و کمپلکس ایزوله پروتئین سویا: صمغ دانه ریحان (ISP-BSG) در نسبت های ۱:۱ (1S:1B)، ۱:۲ (2S:1B) و ۳:۱ (3S:1B) استفاده شد. نوع و ساختار پیکرینگ به کاررفته بر مقدار حفظ روغن در اولئوژل تأثیرگذار بود ( $P < 0.05$ ). حضور صمغ دانه ریحان در نسبت مناسب با پروتئین (2S:1B) باعث ایجاد اولئوژل با ثبات تر و استحکام مکانیکی بالاتری شد و اولئوژل از ساختار شبکه فشرده مناسب تری برخوردار بود. در نهایت اولئوژل 2S:1B دارای ظرفیت اتصال بهتر با روغن بود. بیشترین و کمترین میزان پایداری حرارتی مربوط به نمونه 1S:1B و 2S:1B بود. بیشترین و کمترین میزان قوام به ترتیب در نمونه 2S:1B و 1S:0B مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). بررسی خصوصیات ویسکوالاستیک، تشکیل ژل در سیستم اولئوژل را تأیید کرد. باتوجه به پایداری و خصوصیات بافتی از بین نمونه های اولئوژل، دو فرمول 1S:0B و 2S:1B برای تولید خامه با چربی کاهش یافته (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) استفاده شد. بیشترین میزان پذیرش کلی در نمونه 2S:1B با کاهش ۵ درصد چربی حاصل شد که تفاوت معنی داری با خامه کنترل نداشت.

### مقدمه

چاقی مفرط، سخت شدن دیواره رگها، بیماری های قلبی-عروقی، افزایش فشار خون، آسیب های بافتی و سرطان. در پی افزایش آگاهی مردم نسبت به مضرات مصرف محصولات غذایی پرچرب، افزایش چشمگیری در تقاضای

چربی منبع انرژی مهمی برای بدن محسوب می شود، اما شواهد و یافته های علمی، حاکی از ارتباط مصرف زیاد چربی و افزایش خطر ابتلا به برخی بیماری ها هستند، مثل

چرب مونو یا چندغیراشباعیت، استفاده در شورتینینگ‌ها، بافت‌دهندگی و جایگزین چربی در فرمولاسیون و تأثیر آن در محصولات گوناگون تمایل محققین به شناخت بیشتر آن افزایش یافته است (Patel & Dewettinck, 2016). سیستم‌های اولئوزل همچنین می‌توانند برای رسانش هدفمند ترکیبات محلول در چربی مورد استفاده قرار گیرند (O'Sullivan, Barbut, & Marangoni, 2016). سیستم‌های مختلف تهیه روغن‌های ساختاریافته در فرمولاسیون و تثبیت محصولات گوشتی تازه و پخته‌شده و سوسیس (Zetzi, Marangoni, & Barbut, 2012)، سس‌ها، شکلات و خمیر شکلات و کیک، اسپرید، مارگارین (Patel et al., 2014)، نان و فرآورده‌های پختی مورد پژوهش قرار گرفته شده است (Patel & Dewettinck, 2016). در حال حاضر استفاده از سیستم‌های ساختاریافته روغن در محصولات گوشتی با فرمولاسیون مجدد به‌طور جامعی توسط Jimenez-Colmenero و همکاران (۲۰۱۵) بررسی شده است.

راه‌های مختلفی برای ایجاد ساختارهای روغنی (اولئوزل‌ها) وجود دارد، مانند روش‌های مستقیم و غیرمستقیم است. یکی از روش‌های غیرمستقیم، روش قالب-امولسیون است. این روش نیاز به تشکیل چارچوب ساختاری در یک حلال آبی یا امولسیون مداوم آب دارد. شبکه ژل باید طی حذف کامل آب حفظ شود. پرکننده‌های جاذب که در مواد غذایی به‌منظور حفظ رطوبت و تنظیم پارامترهای محصول مانند قوام، جریان‌پذیری و بافت استفاده می‌شوند، اما در اولئوزل‌ها جهت ایجاد ساختار در روغن استفاده می‌شوند. در روش غیرمستقیم پلیمرهایی مانند پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها می‌توانند به‌عنوان عوامل ایجاد ساختار مورد توجه قرار گیرند.

یکی از روش‌های جدید تشکیل امولسیون، امولسیون پیکرینگ<sup>۱</sup> است، در این روش به‌جای استفاده از عوامل فعال‌کننده سطحی از ذرات جامد برای پایداری امولسیون استفاده می‌شود. مهم‌ترین مزیت این روش پایداری بالای امولسیون نسبت به پدیده ادغام است. این ذرات در آب و روغن محلول نیستند و بین سطح قرار می‌گیرند. در نتیجه ذرات قادر هستند که امولسیون را از طریق مانع فیزیکی در برابر پدیده ادغام پایداری کند. برخلاف امولسیفایرهای با

محصولات غذایی کم‌چرب به‌وجود آمده است (Katsiari, Voutsinas, Kondyli, & Alichanidis, 2002; Kavas, Oysun, Kinik, & Uysal, 2004).

افزایش این گونه تقاضاها موجب تلاش تولیدکنندگان محصولات غذایی برای ارائه پاسخی مناسب و به تبع آن گسترش بازار محصولاتی با خصوصیات سلامتی‌بخش شده است. از طرفی به‌دلیل چندگانه‌بودن نقش چربی در فرآورده‌های غذایی حذف یا کاهش آن منجر به ایجاد خصوصیات نامطلوب می‌گردد. چربی علاوه بر خواص تغذیه‌ای، بر ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی محصولات غذایی مانند طعم، احساس دهانی و بافت نیز تأثیرگذار است (Liu, Xu, & Guo, 2007). چربی در ایجاد عطر و طعم، یا درک ترکیبی از احساس دهانی، طعم و عطر و بو نقش دارد (Sampaio, Castellucci, e Silva, & Torres, 2004). از نقطه‌نظر فیزیولوژیکی، چربی یک منبع از ویتامین‌های محلول در چربی و اسیدهای چرب ضروری بوده و یک حامل هم برای داروهای لیپوفیلی محسوب می‌شود (Romeih, Michaelidou, Biliaderis, & Zerfiridis, 2002). بنابراین، لازم است از ترکیباتی به‌عنوان جایگزین چربی استفاده شود تا ویژگی‌های رئولوژیکی، بافتی و حسی محصول غذایی محصول کم‌چرب حفظ شود.

جایگزین‌های چربی در انواع مختلف وجود دارند، جایگزین‌های چربی بر پایه پروتئین، بر پایه چربی و کربوهیدرات‌ها. هر یک از اینها محاسن و معایب خاص خود را داشته و خواص عملکردی متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. در سیستم‌ها با استفاده از دو یا چندین جایگزین چربی می‌توان به مقبولیت بیشتر رسید. ساختارهای اولئوزل (روغن ساختاریافته) از روش‌های جدید جهت تولید محصول کم‌چرب محسوب می‌شوند (Dassanayake, Kodali, & Ueno, 2011). تهیه اولئوزل‌ها بر اساس فعالیت ژل‌کننده‌هایی با وزن مولکولی کم یا پلیمرهایی است که قادر به تشکیل شبکه سه‌بعدی و تثبیت حلال می‌باشند (Hughes, Marangoni, Wright, Rogers, & Rush, 2009). از زمان‌های دور از اصول اولئوزلاسیون در زمینه‌هایی از قبیل داروها و لوازم آرایشی و بهداشتی استفاده شده، اما در صنعت غذا توجه چشمگیری به آن صورت نگرفته بود. در سال‌های اخیر با تحقیق‌های بیشتر درباره این سیستم در زمینه بهبود تغذیه‌ای محصول از لحاظ کاهش میزان اسید چرب اشباع و بالابردن اسیدهای

<sup>1</sup> Pickering

تخلیص صمغ دانه ریحان، از اتانول ۹۶ درصد استفاده شد. سپس توسط آون با جریان هوای گرم دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. پودر صمغ دانه ریحان آسیاب و سپس بسته‌بندی و در جای خشک و خنک نگهداری شدند. روغن آفتاب‌گردان تجاری جهت تهیه امولسیون‌ها و خامه کاله از بازار تهیه شد. ایزوله پروتئین سویا (رطوبت ۳/۸۷ درصد، خاکستر ۴/۷۶ درصد، پروتئین ۹۱/۴۵ درصد، کربوهیدرات ۲/۰۱ درصد و چربی ۲/۶۷ درصد) از شرکت Shandong Yuxin Bio-Tech Co (ساخت چین) تهیه شد. سدیم آزید ( $\text{NaN}_3$ ) از شرکت AppliChem (ساخت آلمان) تهیه گردیدند. سدیم دودسیل سولفات ( $\text{SDS}^1$ )، اسید کلریدریک، سدیم هیدروکسید کلسیم، کلسیم کلرید و سدیم کلرید از شرکت مرک آلمان خریداری شد.

#### تهیه اولئوژل

امولسیون اولیه به روش امولسیون پیکرینگ تهیه شد. جهت تهیه پیکرینگ از ذرات جامد ایزوله پروتئین سویا (ISP)<sup>۲</sup> و کمپلکس ایزوله پروتئین سویا-صمغ دانه ریحان (ISP-BSG)<sup>۳</sup> استفاده شد که براساس روش Naji-Tabasi و همکاران (۲۰۱۹) تولید شدند. محلول‌های ISP-BSG به ترتیب با نسبت‌های مختلف جرمی پروتئین:پلی‌ساکارید ۱:۰، ۱:۱، ۱:۲ و ۱:۳ مخلوط و به ترتیب 1S:1B، 1S:0B، 2S:1B و 3S:1B نام‌گذاری شدند. برای تهیه امولسیون، روغن آفتاب‌گردان (۶ میلی‌لیتر) به آرامی به محلول ذرات جامد (۲۰ میلی‌لیتر) تحت هم‌وزنایزر (اولترا توراکس تی ۲۵، شرکت IKA ساخت آلمان) با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه اضافه شد. بعد از اینکه اضافه کردن روغن کامل شد، هم‌گن‌سازی در ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه ادامه یافت. جهت تهیه امولسیون‌زل سرد به تمام نمونه‌های امولسیون پیکرینگ تهیه‌شده نمک کلسیم کلرید (۱۰ میلی‌متر) اضافه شد. سپس عمل هم‌زدن با سرعت بالا برای پخش شدن کلسیم در سیستم امولسیون انجام شد (Kuhn, Cavallieri, & Da Cunha, 2010). نمونه‌های امولسیون‌زل در فریز درایر (مدل FDU-8606، ساخت کره‌جنوبی) خشک شدند. پس از حذف کامل آب، هم‌زدن نمونه به مدت مشخصی (۷۰۰۰ دور در دقیقه به

وزن مولکولی پایین، جذب ذرات به صورت برگشت‌ناپذیر است و پایدار بالاتری نسبت به امولسیون‌های معمولی دارند (Linke & Drusch, 2018). از این رو، در این پژوهش امولسیون‌زل پیکرینگ به‌عنوان قالب اولئوژل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

فراورده‌های لبنی در زمره پرمصرف‌ترین محصولات حاوی جایگزین‌های چربی قرار دارند. امروزه مطالعه‌هایی در جهت تولید محصولات رژیمی کم‌چرب به‌ویژه محصولات لبنی رژیمی صورت گرفته است. خامه یکی از محصولاتی است که با محتوای چربی بالا پتانسیل زیادی را برای تحقیق در این راستا دارد. تولید خامه کم‌چرب به شرط حفظ خصوصیات موردپسند مصرف‌کننده علاوه بر جنبه‌های بهداشتی، بازار خوبی را برای تولیدکنندگان فراهم خواهد کرد (فرحناکی، صفری، گورجی و مصباحی، ۱۳۹۰). از این رو هدف از انجام این پژوهش، تولید اولئوژل با استفاده از قالب‌گیری امولسیون‌زل پیکرینگ حاصل از کمپلکس پلی‌ساکارید (صمغ دانه ریحان)-پروتئین (ایزوله پروتئین سویا) است. در نهایت استفاده از سیستم اولئوژل به‌عنوان جایگزین چربی در خامه می‌باشد. در این تحقیق ویژگی‌های اولئوژل (میزان نشت روغن، میزان نشت روغن پس از اعمال تیمارهای حرارتی، ساختار میکروسکوپی، ویژگی‌های بافتی و خصوصیات ویسکوالاستیک) و خامه (میزان آب‌اندازی، پارامترهای رنگی و ویژگی‌های حسی) مورد بررسی قرار گرفته است.

#### مواد و روش‌ها

##### مواد اولیه

دانه‌های ریحان از یک عطاری در مشهد خریداری شد. اتانول ۹۶ درصد از شرکت تقطیر خراسان (ساخت ایران) تهیه شد. استخراج صمغ از دانه‌های ریحان براساس روش اصلاح شده مطالعه‌های پیشین Mahdian, Naji-Tabasi, Arianfar و Naji-Tabasi (۲۰۱۹) انجام گرفت. به صورت خلاصه شرایط استخراج صمغ دانه ریحان در این پژوهش عبارت بودند از: نسبت آب (مقطر) به دانه ۲۰:۱، pH، ۷ و دمای  $68 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد. مخلوط آب و دانه به مدت ۲۰ دقیقه در دمای مذکور به آرامی هم‌زده شد. جداسازی صمغ از دانه‌های متورم‌شده با عبور دانه از اکستراکتور مجهز به صفحه چرخنده (استخراج‌کننده آزمایشگاهی، شرکت پارس خزر، ساخت ایران) صورت گرفت. جهت

<sup>1</sup> Sodium dodecyl sulphate

<sup>2</sup> Isolated soy protein

<sup>3</sup> Isolated soy protein and basil seed gum complex

دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) انجام گردید. پارامترهای بافتی سفتی<sup>۲</sup>، قوام<sup>۳</sup> و چسبندگی<sup>۴</sup> اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفتند.

#### بررسی ویژگی‌های ویسکوالاستیک

آزمون‌های رئولوژیکی دینامیکی اولئوژل حاصل از آن با استفاده از رئومتر پارافیزیکا (ساخت آلمان) مجهز به هندسه مخروط-صفحه در حالت کنترل‌شده کرنش انجام گرفت. آزمون کرنش متغیر در فرکانس ثابت ۱ هرتز و در دامنه کرنش ۰/۱ تا ۱۰۰ درصد به منظور تعیین ناحیه خطی انجام گرفت. آزمون فرکانس متغیر در دامنه فرکانس زاویه‌ای ۱۰۰-۰/۱ هرتز، کرنش ثابت ۰/۵ درصد و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. مدول‌های ذخیره<sup>۵</sup>، اُفت<sup>۶</sup> و زاویه فازی<sup>۷</sup> مورد بررسی قرار گرفتند. جهت برآورد پارامترهای خصوصیات ویسکوالاستیک از نرم‌افزار فیزیکا رئومتر دیتا آنالیز<sup>۸</sup> (Rheoplus/32 version V3.40) و متلب<sup>۹</sup> (۲۰۱۵a) استفاده گردید.

#### بررسی ویژگی‌های حسی خامه کم‌چرب

پس از انتخاب نمونه‌های منتخب سیستم‌های اولئوژل از نظر پایداری (نمونه‌های 1S:0B و 2S:1B) پس از بررسی نتایج انتخاب گردید، تولید خامه با جایگزینی درصد‌های مختلف اولئوژل برای کاهش میزان چربی خامه به میزان ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد انجام شد. جهت بررسی ویژگی‌های حسی خامه از گروه داوران چشایی متشکل از ۹ نفر استفاده شد. از داوران خواسته شد جهت از بین رفتن طعم ناشی از هر نمونه، در بین هر دو نمونه از آب ولرمی که در اختیار آنها قرار گرفته بود، استفاده کنند. نمونه‌های خامه در اختیار داوران چشایی قرار گرفت و از آنها خواسته شد در مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای نسبت به امتیازدهی خامه‌ها در خصوص پارامترهای رنگ، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی اعلام نظر نمایند.

مدت ۲ دقیقه) برای رسیدن به ساختار اولئوژل مورد نظر انجام شد. آزمون‌ها پس از تهیه اولئوژل انجام شد.

#### بررسی میکروساختار اولئوژل

جهت بررسی ساختار اولئوژل، نمونه‌ها روی لام قرار گرفته و توسط میکروسکوپ نوری دیجیتال (demobaL، ساخت آمریکا) در بزرگ‌نمایی ۲۰۰× از آنها عکس تهیه شد.

#### بررسی ظرفیت نگهداری روغن

۱۰۰ تا ۲۰ میلی‌گرم از اولئوژل را در لوله‌های میکروسانتریفیوژ بین دو قطعه کاغذ جذب قرار داده، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد دقیقه سانتریفیوژ شدند. ظرفیت نگهداری روغن (OHC<sup>۱</sup>) توسط اختلاف بین وزن روغن باقی‌مانده در اولئوژل پس از سانتریفیوژ و وزن کل روغن در نمونه محاسبه گردید (Manzocco et al., 2017).

#### بررسی میزان نشت روغن

جهت بررسی میزان نشت روغن از ساختار اولئوژل، نمونه‌ها به مدت ۳۰ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و میزان روغن خارج‌شده از ساختار اولئوژل به‌عنوان میزان نشت روغن گزارش شد (De Vries, Hendriks, Van Der Linden, & Scholten, 2015).

#### بررسی میزان نشت روغن پس از اعمال تیمارهای حرارتی

ساختار اولئوژل پیکرینگ به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد داخل بن‌ماری نگهداری شدند و سپس با ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد و پایداری امولسیون براساس محاسبه میزان روغن جداشده محاسبه گردید (De Vries et al., 2015).

#### آنالیز پروفایل بافت

جهت بررسی خصوصیات بافتی نمونه‌های اولئوژل، آزمون فشردگی انجام گرفت. دستگاه آنالیز بافت (TA.XT plus، ساخت انگلستان) با پروب صفحه‌ای با قطر ۲۰ میلی‌متر با سرعت پروب ۱ میلی‌متر بر ثانیه برای بررسی خصوصیات بافتی اولئوژل استفاده و تمامی آزمون‌ها در

<sup>2</sup> Hardness

<sup>3</sup> Consistency

<sup>4</sup> Adhesiveness

<sup>5</sup> Storage modulus

<sup>6</sup> Loss modulus

<sup>7</sup> Phase angle

<sup>8</sup> Physica Rheometer Data Analysis

<sup>9</sup> MATLAB software

<sup>1</sup> Oil Holding Capacity

## آنالیز آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری نتایج از طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. داده‌ها توسط آنالیز واریانس (ANOVA) و اختلاف بین میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن و مینی‌تب نسخه ۱۶ در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار Microsoft Excel نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد. برای آنالیز داده‌های رئولوژی از نرم‌افزارهای رئوپلاس (version 3.40 Anton Paar GmbH, Germany) استفاده شد.

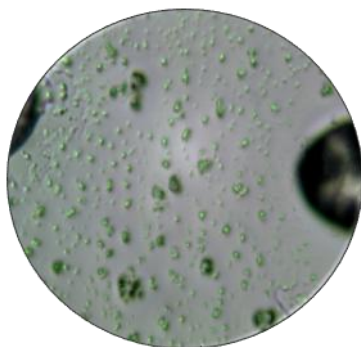
## نتایج و بحث

### ساختار اولئوژل

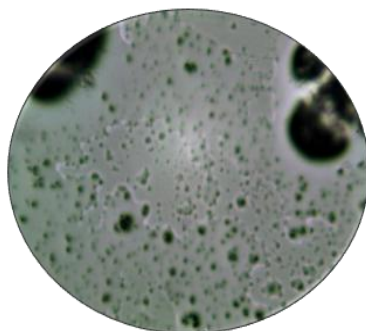
جهت تهیه اولئوژل‌ها از قالب امولسیون‌ژل پیکرینگ استفاده شد و با خشک‌کردن انجمادی امولسیون‌ژل پیکرینگ، ساختار اولیه اولئوژل اولیه شکل گرفت. برای اینکه اولئوژل با ساختار ژل شکل بگیرد به نمونه‌ها تنش اعمال شد (شکل ۱). در ساختار نهایی اولئوژل ذرات کوچک روغن در داخل ساختار شبکه اولئوژل پراکنده شده است، به روغن ساختاریافته جامد تبدیل شد. هر چقدر ساختار شبکه دارای استحکام بیشتری باشد روغن در داخل این شبکه پایدارتر خواهد بود و میزان نشت کمتری خواهد داشت. طی فرایند خشک‌شدن، با حذف فاز پیوسته آب، ممکن است قطره‌های روغن از شبکه خارج شوند. اما تمامی امولسیون‌ها طی خشک‌کردن انجمادی پایدار بودند و هیچ جداشدن فازی روی نداد. با وجود نانوذرات به‌عنوان پیکرینگ در سطح بینابینی روغن و آب، قطره‌های روغن بدون در هم ادغام‌شدن، کاملاً از هم مجزا بودند. تشکیل یک شبکه ژل مانند باعث می‌شود پایداری امولسیون‌های تثبیت‌شده توسط ذرات در برابر خامه‌ای شدن طی انجماد بهبود یابد (Zhu, Zhang, Lin, 2018; Tang & Zhu et al., 2017). به نظر می‌رسد که اولئوژل مجموعه‌ای از گرانول است که روغن مایع در آنها به‌دام افتاده است و روغن مایع جریان ندارد.

تأثیر نوع پیکرینگ به‌کاررفته در امولسیون بر ساختار اولئوژل مورد بررسی قرار گرفت و تصاویر در شکل (۱) نمایش داده شده است. در هر دو میکروساختار اولئوژل شاهد توزیع یکنواخت ذرات روغن در ساختار اولئوژل

بودیم. با استفاده از نانوذرات ISP-BSG در پایداری امولسیون، ساختار شبکه کمی فشرده‌تر می‌شود و حفره شبکه کوچک‌تر می‌شود. با توجه به ساختار شبکه‌ای که توسط نانوذرات ISP و ISP-BSG به‌عنوان امولسیفایر شکل‌گرفته است، روغن مایع بدون بیرون‌ریختن به آن متصل شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۱- میکروساختار اولئوژل‌های ISP (الف) و ISP-BSG (ب)

### بررسی میزان نشت روغن

اثر نوع پیکرینگ استفاده‌شده برای پایداری امولسیون بر ظرفیت اتصال روغن نمونه‌های اولئوژل با روش سانتریفیوژ اندازه‌گیری شد و نتیجه در جدول (۱) گزارش شده است. بدیهی است که نوع و ساختار پیکرینگ به‌کاررفته در امولسیون بر مقدار حفظ روغن تأثیرگذار بوده است. پایداری سانتریفیوژی اولئوژل نمونه 1S:0B و 2S:1B به ترتیب ۸۲/۵۳ و ۸۳/۴۲ درصد مشاهده شد (جدول ۱) که تفاوت معنی‌داری بین دو ساختار اولئوژل مشاهده نگردید.

جدول ۱- پایداری اولئوژل‌ها طی ۴ هفته نگهداری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد\*

نمونه‌ها	پایداری سانتریفیوژی (درصد)	پایداری حرارتی (درصد)	هفته ۱ (درصد)	هفته ۲ (درصد)	هفته ۳ (درصد)	هفته ۴ (درصد)
1S:0B	۸۲/۵۳±۳/۲۹ <sup>a</sup>	۷۰/۳۳±۱/۷۹ <sup>a</sup>	۱۰۰/۰۰±۰/۰۰ <sup>a</sup>	۱۰۰/۰۰±۰/۰۰ <sup>a</sup>	۹۷/۲۲±۱/۲۳ <sup>a</sup>	۹۵/۴۴±۲/۹۵ <sup>a</sup>
1S:1B	۶۶/۵۲±۳/۳۲ <sup>c</sup>	۵۵/۹۱±۳/۸۳ <sup>c</sup>	۱۰۰/۰۰±۰/۰۰ <sup>a</sup>	۹۱/۳۳±۲/۸۶ <sup>b</sup>	۸۴/۰۴±۱/۹۲ <sup>b</sup>	۷۶/۳۷±۳/۴۹ <sup>b</sup>
2S:1B	۸۳/۴۲±۲/۳۷ <sup>a</sup>	۷۲/۵۰±۲/۱۹ <sup>a</sup>	۱۰۰/۰۰±۰/۰۰ <sup>a</sup>	۱۰۰/۰۰±۰/۰۰ <sup>a</sup>	۹۸/۳۸±۱/۱۵ <sup>a</sup>	۹۶/۶۸±۱/۵۹ <sup>a</sup>
3S:1B	۷۴/۸۸±۲/۲۱ <sup>b</sup>	۷۰/۸۱±۳/۱۹ <sup>a</sup>	۱۰۰/۰۰±۰/۰۰ <sup>a</sup>	۱۰۰/۰۰±۰/۰۰ <sup>a</sup>	۹۷/۶۶±۳/۶۹ <sup>a</sup>	۹۱/۲۹±۳/۷۹ <sup>a</sup>

\*حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین اولئوژل‌ها می‌باشد (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ ).

نمونه 2S:1B به دلیل ساختار اولئوژل قوی ایجاد شده، بهترین ظرفیت اتصال روغن داشت. می‌توان دریافت که حضور صمغ دانه ریحان در نسبت مناسب با پروتئین باعث ایجاد امولسیون با ثبات‌تر با استحکام مکانیکی بالاتری می‌شود و سپس به محصول خشک‌شده با شبکه فشرده‌تر منجر می‌شود. سرانجام، اولئوژل‌ها با استحکام مکانیکی بالاتر و ظرفیت اتصال بهتر با روغن تهیه شدند. بنابراین، ساختار پیکرینگ و خصوصیات مکانیکی امولسیون‌ها، محصولات خشک‌شده و اولئوژل‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. استحکام مکانیکی محصولات خشک‌شده و اولئوژل‌ها به نظر می‌رسد به ظرفیت اتصال روغن با نمونه مرتبط است و مقاومت مکانیکی بالاتر منجر به ظرفیت اتصال روغن بهتر است. کمترین پایداری در نمونه 1S:1B مشاهده گردید ( $P < 0.05$ ). ذرات پیکرینگ نمونه 1S:1B دارای اندازه ذرات بزرگ‌تر (۱۳۹/۴۰ نانومتر) نسبت به سایر نمونه‌ها بودند (۱۱۱/۸۱-۸۸/۳۰ نانومتر) (گزارش نشده است). اندازه ذرات روی پایداری امولسیون اولیه و ساختار اولئوژل طی خشک‌کردن مؤثر است که در نهایت بر ظرفیت جذب روغن در ساختار اولئوژل تأثیرگذار است.

پس از اعمال حرارت (۸۰ درجه سانتی‌گراد) میزان نشت روغن افزایش پیدا کرد و به حدود ۷۲-۵۵ درصد رسید. اگرچه این مقدار پایداری همچنان قابل توجه بود. بیشترین و کمترین میزان پایداری حرارتی مربوط به نمونه 2S:1B و 1S:1B بود. اگرچه تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های 1S:0B، 2S:1B و 3S:1B وجود نداشت.

طی نگهداری نمونه‌های اولئوژل در هفته اول کاملاً پایدار بودند. از هفته دوم ناپایداری در سیستم اولئوژل نمونه 1S:1B آغاز شد. در هفته سوم در تمام نمونه‌ها

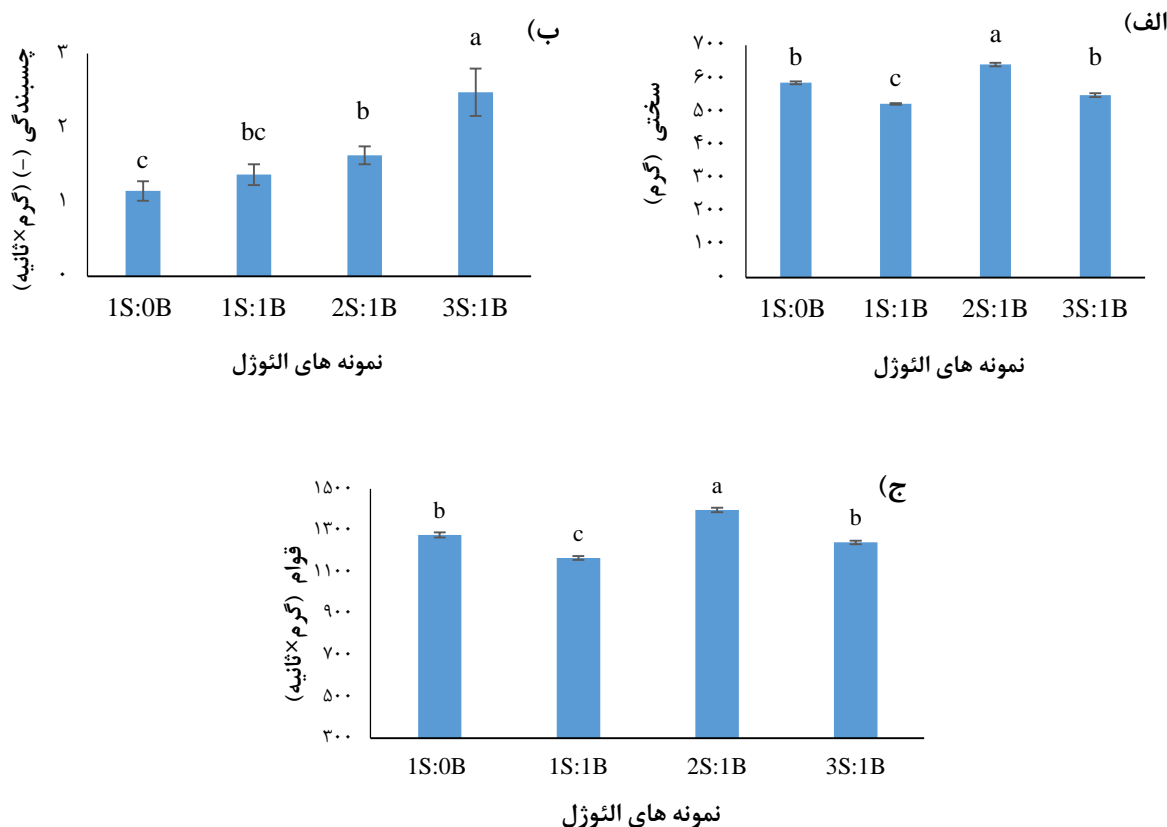
ناپایداری مشاهده شد. در هفته چهارم میزان پایداری اولئوژل نمونه‌های 1S:0B، 1S:1B، 2S:1B و 3S:1B به ترتیب ۹۵/۴۴، ۷۶/۳۷، ۹۶/۶۸ و ۹۱/۲۹ درصد مشاهده شد (جدول ۱) که کمترین میزان مربوط به نمونه 1S:1B بود.

#### آنالیز پروفایل بافت اولئوژل

**شکل (۲-الف)** سختی اولئوژل میزان مقاومت ژل و میزان فشردگی ساختار شبکه ژل را نشان می‌دهد. اثر نوع پیکرینگ بر سختی اولئوژل مشهود بود ( $P < 0.05$ ). یعنی سختی اولئوژل با استفاده از پیکرینگ‌های کمپلکس ISP-BSG نسبت به ISP افزایش یافت (به استثناء 1S:1B). نمونه‌های تهیه‌شده توسط پیکرینگ نمونه 2S:1B منجر به ساختار شبکه مستحکم‌تر در مقایسه با سایر پیکرینگ‌ها شد. این افزایش سختی بافت می‌تواند مربوط به تشکیل یک لایه سطحی ضخیم‌تر در اطراف قطره‌ها در حضور ذرات نمونه 2S:1B باشد.

میزان چسبندگی (شکل ۲-ب) سیستم اولئوژل بسته به ساختار پیکرینگ مورد استفاده در پایداری سازی امولسیون ژل وابسته بود ( $P < 0.05$ ). کمترین میزان چسبندگی در نمونه 1S:0B (۱/۱۵ گرم×ثانیه) مشاهده شد که دارای پیکرینگ ISP بود. با استفاده از پیکرینگ کمپلکس ISP-BSG چسبندگی سیستم اولئوژل افزایش معنی‌دار داشت. این افزایش با توجه به نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید در کمپلکس متفاوت بود که بیشترین میزان چسبندگی در نمونه 3S:1B مشاهده شد (۲/۴۸ گرم×ثانیه) ( $P < 0.05$ ).





شکل ۲- ویژگی‌های بافتی (الف: سختی؛ ب: چسبندگی؛ ج: قوام) نمونه‌های اولئوژل

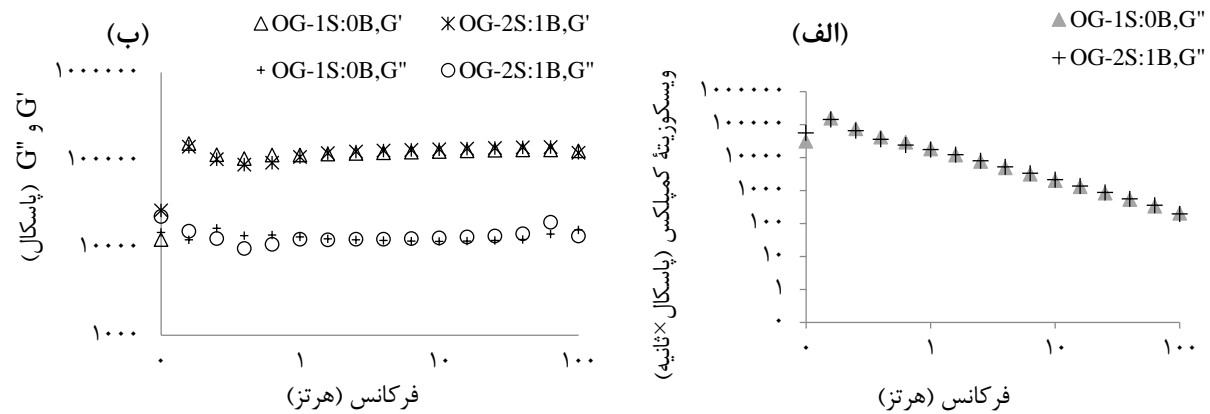
حروف مختلف روی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین امولسیون‌ژل‌های مختلف صمغ می‌باشد (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ ).

می‌دهد. نمونه‌های اولئوژل تهیه‌شده وابستگی ضعیف  $G'$  و  $G''$  به فرکانس نشان دادند و به صورت «جامد» رفتار کردند ( $G' > G''$ ) و استحکام ژل نمونه‌ها مشابه بود. براساس آزمون فرکانس متغیر، مقدار مدول ذخیره نمونه 1S:0B (۱۱۲۰۰۰ پاسکال) بیش از 2S:1B (۱۰۸۰۰۰ پاسکال) بود، هر چند این اختلاف ناچیز بود (جدول ۲). مقدار مدول اتلاف 1S:0B (۱۳۲۰۰ پاسکال) کمی بیش از 2S:1B (۱۲۷۰۰ پاسکال) بود. مقادیر بالاتر  $G'$  از  $G''$  نشانگر تشکیل شبکه و ایجاد رفتار جامدگونه است. برهم‌کنش‌های مولکولی و به‌هم‌پیوستگی زنجیره‌های مولکولی بیشتر باعث تقویت رفتار ویسکوالاستیک ژل می‌شود ( $P > 0.05$ ).

میزان قوام نمونه‌های اولئوژل در شکل (۲-ج) نشان داده شده است. بیشترین و کمترین میزان قوام به ترتیب در نمونه 1S:0B و 2S:1B مشاهده شد ( $P < 0.05$ ). تفاوت معنی‌داری بین سایر نمونه‌ها مشاهده نشد. افزایش قوام ژل به احتمال زیاد مربوط به اتصال قوی قطره‌های امولسیون در حضور صمغ دانه ریحان در ارتباط بود. بنابراین، بسته‌ای متراکم‌تر از قطره‌های روغن تشکیل شده است و پس از تبدیل شدن به اولئوژل قوام بالاتری ایجاد می‌نماید.

#### بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی اولئوژل

خواص رئولوژیک دینامیک اولئوژل در شکل (۳) و جدول (۲) گزارش شده است. آزمون فرکانس متغیر اولئوژل در کرنش ثابت ۰/۵ درصد انجام شد. شکل (۳) قدرت ژل نمونه‌های اولئوژل نمونه 1S:0B و 2S:1B را نمایش



شکل ۳- نمودار مدول ذخیره ( $G'$ ) و مدول اتلاف ( $G''$ ) (الف) و ویسکوزیته کمپلکس ( $\eta^*$ ) (ب) در برابر فرکانس اولئوژل در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، کرنش ۰/۵ درصد

جدول ۲- مدول ذخیره ( $G'$ )، مدول اتلاف ( $G''$ ) و ویسکوزیته کمپلکس ( $\eta^*$ ) اولئوژل در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، کرنش ۰/۵ درصد و فرکانس ۱ هرتز

نمونه‌های اولئوژل	$G'$ (پاسکال)	$G''$ (پاسکال)	$\eta^*$ (پاسکال×ثانیه)	$\tan \delta$	شیب ویسکوزیته کمپلکس
1S:0B	۱۱۲۰۰۰/۰۰	۱۳۲۰۰	۱۸۲۰۰	۰/۱۱۶	-۱/۰۶۱
2S:1B	۱۰۸۰۰۰/۰۰	۱۲۷۰۰	۱۷۳۰۰	۰/۱۱۵	-۱/۰۸۴

ناچیز بود (۰/۰۸). مقدار شاخص‌های قانون توان در مدول اتلاف (d) در نمونه 1S:0B و 2S:1B به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۹ بود نشانگر شکل‌گیری ساختار شبکه‌ای و ایجاد تداخل‌های مولکولی در این نمونه‌هاست که منجر به ایجاد زلی قوی گشته است.

جدول ۳- پارامترهای مدل توان برای مدول ذخیره، مدول اتلاف اولئوژل (دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، کرنش ۰/۵ درصد)

نمونه‌های اولئوژل		$G' = a \cdot \omega^b$		$G'' = c \cdot \omega^d$	
		R <sup>2</sup>	b	R <sup>2</sup>	d
1S:0B	۰/۰۴	۰/۹۱	۰/۰۴	۰/۹۱	۰/۰۴
2S:1B	۰/۰۸	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۹۲	۰/۰۹

#### بررسی خصوصیات خامه با چربی کاهش یافته

باتوجه به پایداری و خصوصیات بافتی از بین نمونه‌های اولئوژل، دو فرمول 1S:0B و 2S:1B جهت جایگزینی در خامه برای تولید خامه با چربی کاهش یافته استفاده شد.

#### بررسی ویژگی‌های حسی خامه کم‌چرب

میزان چربی در محصولات غذایی بر احساس دهانی و

مقادیر ویسکوزیته کمپلکس اولئوژل‌ها در نمونه 1S:0B و 2S:1B به ترتیب ۱۸۲۰۰ و ۱۷۳۰۰ (پاسکال×ثانیه) بود (جدول ۲) و هیچ‌گونه رفتاری از رسیدن ویسکوزیته کمپلکس به مقدار ثابت نیوتنی در محدوده دامنه فرکانس اعمال شده وجود نداشت (شکل ۳). ویسکوزیته کمپلکس در برابر فرکانس  $\eta^* - f$  نیز تشکیل ژل را در هر دو سیستم اولئوژل تأیید کرد.

بر اساس مقدار  $\tan \delta$  اولئوژل نمونه 1S:0B و 2S:1B در محدوده ۰/۱۱۶-۰/۱۱۵ قرار دارد که وجود شبکه اولئوژل را در هر دو نمونه تأیید می‌کند. مقادیر  $\tan \delta$  بر حسب نوع سیستم پلیمری تفاوتی نداشت. وابستگی بین  $G'$  و  $G''$  با فرکانس با استفاده از توابع قانون توان  $G' = a \cdot \omega^b$  و  $G'' = c \cdot \omega^d$  تعیین شد (جدول ۳). باتوجه به مقادیر ضریب تبیین (۰/۹۲-۰/۹۱)، مدل قانون توان برای بیان رابطه بین مدول ذخیره و اتلاف با فرکانس مناسب است. با ملاحظه نتایج ارائه شده در جدول (۳) می‌توان دریافت که کمترین مقدار b مربوط به اولئوژل نمونه 1S:0B بود که وجود الاستیسیته بالا در این نمونه را نشان می‌دهد، دارد، اگرچه اختلاف آن با نمونه 2S:1B



درصد میزان امتیاز عطر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). بیشترین امتیاز طعم مربوط به نمونه خامه کنترل، نمونه OG-2S:1B ۵ درصد و نمونه OG-1S:0B ۵ درصد بود. کمترین امتیاز در نمونه‌های با ۱۵ درصد جایگزینی مشاهده شد. امتیاز عطر تمامی نمونه‌ها در بازه ۲/۱۲-۴/۳۷ قرار داشت. سیستم اولئوزل نمونه 1S:0B و 2S:1B روند مشابهی در تأثیرگذاری بر درک طعم داشتند.

مقایسه رنگ نمونه‌ها (شکل ۴-ج) نشان داد بیشترین میانگین امتیاز رنگ (از نظر مطلوبیت) در بین تیمارهای کم‌چرب مربوط به نمونه OG-1S:0B در سطح ۵ درصد و کمترین میانگین امتیاز رنگ (رنگ تیره‌تر) مربوط به نمونه OG-1S:0B در سطح ۱۵ درصد بود. با افزایش میزان جایگزینی چربی میزان امتیاز رنگ کاهش معنی‌دار داشت. اگرچه امتیاز بیشتر نمونه‌ها قابل قبول و در محدوده ۳/۱۴-۴/۸۶ بود.

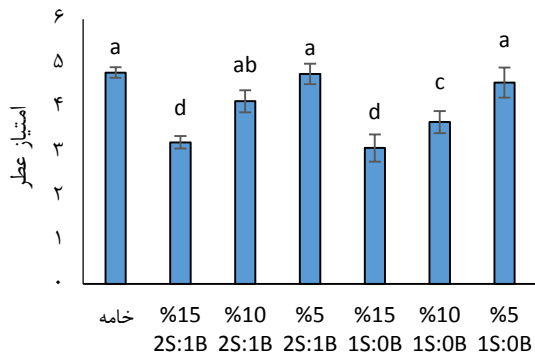
درمورد ویژگی ظاهر و بافتی (شکل ۴-د و ۴-ه)، حضور سیستم جایگزین چربی باعث حفظ کیفیت مطلوب در نمونه‌های خامه کم‌چرب شد و در تمامی نمونه‌ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب شد. نتایج حاکی از آن بود که بالاترین میانگین امتیاز، به‌ترتیب مربوط به نمونه‌های خامه کنترل، نمونه OG-2S:1B ۵ درصد و نمونه OG-1S:0B ۵ درصد بود. باتوجه‌به حذف کامل آب وجود ساختار روغن در پلیمر بافت اولئوزل توانسته ساختار منسجم در خامه ایجاد نماید که از مطلوبیت بالا برخوردار بود. سطوح پایین جایگزینی (۵ درصد) از مطلوبیت بافت بالاتری برخوردار بودند.

در بررسی نتایج قابلیت پذیرش توسط مصرف‌کننده (شکل ۴-و)، امتیاز نمونه OG-2S:1B ۵ درصد و نمونه خامه کنترل نسبت به سایر نمونه‌ها بالاتر بود ( $P < 0.05$ ). اگرچه اکثر نمونه‌ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب کردند.

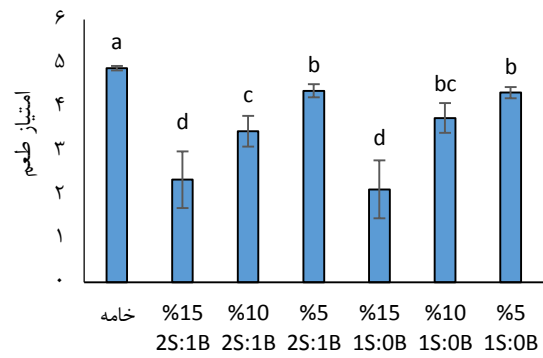
خصوصیات حسی محصولات غذایی اثرگذار است. از این‌رو، باتوجه‌به اهمیت نقش اجزاء تشکیل‌دهنده مواد غذایی بر خصوصیات حسی، آزمون ویژگی‌های حسی خامه‌های کم‌چرب در مقایسه با خامه توسط آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

در مشخصه کیفی طعم، نتایج نشان داد میزان طعم خامه به مقدار چربی وابسته است (شکل ۴-الف). نتایج نشان داد که بیشترین میانگین امتیاز طعم مربوط به خامه کنترل بود (۴/۸۹) و کمترین میانگین امتیاز طعم مربوط به ۱۵ درصد جایگزینی سیستم اولئوزل بود ( $P < 0.05$ ). این تحقیق نشان داد که میزان جایگزینی نسبت به نوع سیستم در امتیاز طعم نقش دارد. از سویی دیگر بیشترین امتیاز در نمونه‌های کم‌چرب مربوط به سطوح ۵ درصد جایگزینی بود. پروفایل رهایش طعم‌ها به‌طور معنی‌دار تابع غلظت چربی است و با کاهش غلظت چربی، شدت رهاسازی طعم زیاد می‌شود. به‌عبارت‌دیگر چربی به‌عنوان حامل ترکیبات مولد طعم عمل می‌کند. به‌همین دلیل ترکیبات آروما با قطبیت کمتر، غلظت آستانه طعم بیشتری در روغن در مقایسه با غلظت آستانه طعم در آب دارند (Piraprez, Marie, France Hérent, & Collin, 1998). در هر حال در هیچ یک از نمونه‌های کم‌چرب طعم نامطبوع گزارش نشد و نتایج بین ۲/۱۲-۴/۳۷ متغیر بود. در تحقیق‌های پیشین نیز گزارش شده است که کمک انکپسولاسیون روغن در ذرات ژل (امولسیون‌های ریزساختار)، احتمال کنترل انتخابی ترکیبات لیپوفیل در محصولات کم‌چرب افزایش می‌یابد. این نوع امولسیون‌ها قادر به کنترل شدت ترکیبات مولد طعم لیپوفیل و بهبود تعادل طعم در مخلوط‌های حاوی چند نوع طعم‌دهنده می‌شوند (Ayed, Martins, Williamson, & Guichard, 2018).

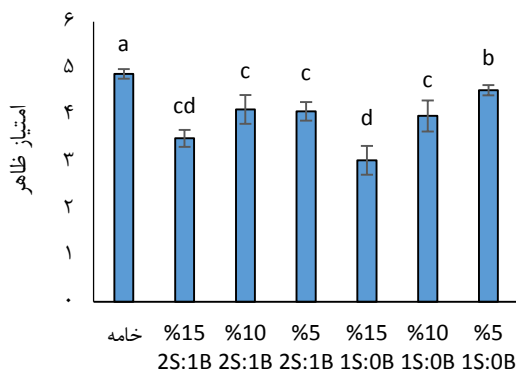
نتایج آزمون عطر مشابه طعم تابعی از میزان چربی بود (شکل ۴-ب) و با افزایش درصد جایگزینی از ۵ به ۱۵



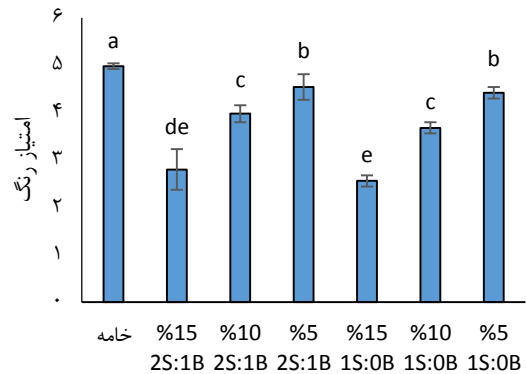
(ب) نمونه های خامه



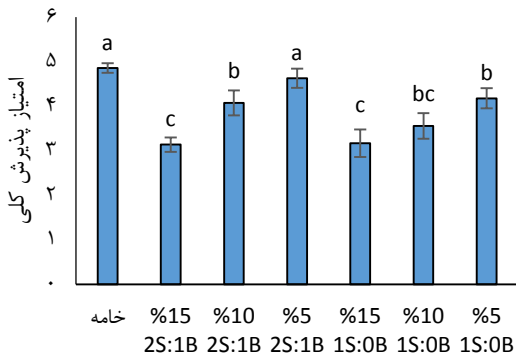
(الف) نمونه های خامه



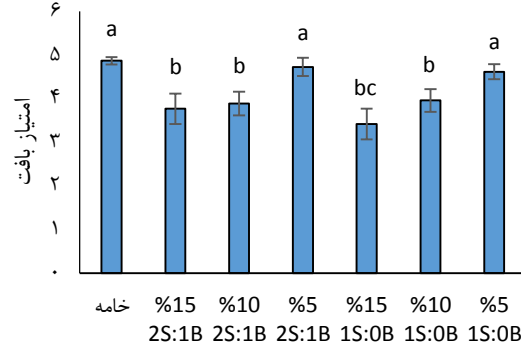
(د) نمونه های خامه



(ج) نمونه های خامه



(و) نمونه های خامه



(ه) نمونه های خامه

شکل ۴- خصوصیات حسی (الف: طعم؛ ب: عطر؛ ج: ظاهر؛ د: رنگ؛ ه: پذیرش کلی؛ و: امتیاز بافت) خامه تهیه شده با جایگزینی درصد های مختلف اولئوژل

حروف مختلف روی هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار بین نمونه های خامه می باشد (آزمون دانکن،  $P < 0.05$ ).

معنی داری افزایش داد. حضور BSG باعث تغییر مورفولوژی و خصوصیات سطح نانوذرات می شود و جذب ذرات در حد فاصل روغن و آب را بهبود می دهد. روغن در داخل شبکه تشکیل شده با نانوذرات ISP-BSG پایدارتر بود و میزان نشت کمتری داشت. می توان دریافت که حضور صمغ دانه ریحان در نسبت مناسب با پروتئین باعث

### نتیجه گیری

با استفاده از ذرات جامد ISP و ISP-BSG به عنوان امولسیون پیکرینگ، ساختار امولسیون اولیه به عنوان قالب اولئوژل تشکیل شد. نوع پیگرنینگ به کاررفته در پایداری اولئوژل تأثیرگذار بود. حضور صمغ دانه ریحان بخصوص در نسبت ۲:۱ پایداری سیستم اولئوژل را به طور

سیستم جایگزین چربی باعث حفظ کیفیت مطلوب در نمونه‌های خامه کم‌چرب شد و در تمامی نمونه‌ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب شد. باتوجه‌به حذف کامل آب و وجود ساختار روغن در پلیمر بافت اولئوژل توانسته ساختار منسجم‌تر در خامه ایجاد نماید که از مطلوبیت بالا برخوردار بود. در پذیرش کلی بیشترین امتیاز متعلق به نمونه OG-2S:1B ۵ درصد و نمونه خامه کنترل بود ( $P < 0/05$ ). اگرچه اکثر نمونه‌ها امتیاز بالاتر از ۳ کسب کردند که نشانگر مطلوبیت این نمونه‌ها از نظر داوران حسی است.

ایجاد اولئوژل با ثبات‌تر با استحکام مکانیکی بالاتری می‌شود. سختی اولئوژل با استفاده از پیکرینگ‌های کمپلکس ISP-BSG نسبت به ISP افزایش یافت. مقادیر بالاتر G' نسبت به G'' تشکیل ژل را در سیستم اولئوژل تأیید کرد. در سیستم اولئوژل مقدار مدول ذخیره و اتلاف نمونه 1S:0B بیشتر از نمونه 2S:1B بود، هرچند این اختلاف ناچیز بود. با استفاده از سیستم اولئوژل نمونه 1S:0B و 2S:1B خامه کم‌چرب تهیه شد. براساس نتایج آزمون حسی مشخص شد، مشخصه‌های کیفی نمونه‌های خامه بیشتر به میزان جایگزینی وابسته بودند. حضور

## منابع

- فرحناکی، ع.، صفری، ز.، گورجی، ف. ا.، و مصباحی، غ. (۱۳۹۰). کاربرد ژلاتین به عنوان هیدروکلوئید جایگزین چربی در تولید خامه کم‌چرب. علوم و صنایع غذایی ایران، ۸(۳۲)، ۴۵-۵۲.
- Ayed, C., Martins, S. I., Williamson, A. M., & Guichard, E. (2018). Understanding fat, proteins and saliva impact on aroma release from flavoured ice creams. *Food chemistry*, 267, 132-139. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.127>
- 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cocis.2011.05.005>
- De Vries, A., Hendriks, J., Van Der Linden, E & Scholten, E. (2015). Protein oleogels from protein hydrogels via a stepwise solvent exchange route. *Langmuir*, 31(51), 13850-13859. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5b03993>
- Farahnaky, A., Safari, Z., Ahmadi Gorji, F., & Mesbahi, G. (2011). Use of gelatin as a fat replacer for low fat cream production. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 8(32), 45-52. (in Persian)
- Hughes, N. E., Marangoni, A. G., Wright, A. J., Rogers, M. A., & Rush, J. W. (2009). Potential food applications of edible oil organogels. *Trends in Food Science & Technology*, 20(10), 470-480. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.06.002>
- Jimenez-Colmenero, F., Salcedo-Sandoval, L., Bou, R., Cofrades, S., Herrero, A. M., & Ruiz-Capillas, C. (2015). Novel applications of oil-structuring methods as a strategy to improve the fat content of meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 177-188. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.011>
- Katsiari, M., Voutsinas, L., Kondyli, E., & Alichanidis, E. (2002). Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture. *Food chemistry*, 79(2), 193-198. doi:[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00131-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00131-0)
- Kavas, G., Oysun, G., Kinik, O., & Uysal, H. (2004). Effect of some fat replacers on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese. *Food chemistry*, 88(3), 381-388. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.054>

- Kuhn, K. R., Cavallieri, Â. L. F., & Da Cunha, R. L. (2010). Cold-set whey protein gels induced by calcium or sodium salt addition. *International journal of food science & technology*, 45(2), 348-357. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02145.x>
- Linke, C., & Drusch, S. (2018). Pickering emulsions in foods-opportunities and limitations. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(12), 1971-1985. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1290578>
- Liu, H., Xu, X., & Guo, S. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*, 40, ۹۵۴-۹۶۶. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007>
- Manzocco, L., Valoppi, F., Calligaris, S., Andreatta, F., Spilimbergo, S., & Nicoli, M. C. (2017). Exploitation of  $\kappa$ -carrageenan aerogels as template for edible oleogel preparation. *Food hydrocolloids*, 71, 68-75. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.021>
- Meng, Z., Qi, K., Guo, Y., Wang, Y., & Liu, Y. (2018). Macro-micro structure characterization and molecular properties of emulsion-templated polysaccharide oleogels. *Food hydrocolloids*, 7, ۲۹-۱۷. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.006>
- Naji-Tabasi, S., Mahdian, E., Arianfar, A., & Naji-Tabasi, S. (2019). Nanoparticles fabrication of soy protein isolate and basil seed gum (*Ocimum bacilicum* L.) complex as pickering stabilizers in emulsions. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1080/01932691.2019.1703736>
- O'Sullivan, C. M., Barbut, S., & Marangoni, A. G. (2016). Edible oleogels for the oral delivery of lipid soluble molecules: composition and structural design considerations. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 59-73. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.018>
- Patel, A. R., & Dewettinck, K. (2016). Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food & function*, 7(1), 20-29. doi:<https://doi.org/10.1039/C5FO01006C>
- Patel, A. R., Rajarethinem, P. S., Grędowska, A., Turhan, O., Lesaffer, A., De Vos, W. H., . . . Dewettinck, K. (2014). Edible applications of shellac oleogels: spreads, chocolate paste and cakes. *Food & function*, 5(4), ۶۵۲-۶۴۵. doi:<https://doi.org/10.1039/C4FO00034J>
- Piraprez, G., Marie France Hérent, & Collin, S. (1998). Determination of the lipophilicity of aroma compounds by RPHPLC. *Flavour and Fragrance Journal*, 400-408 .
- Romeih, E. A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G., & Zerfiridis, G. K. (2002). Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. *International Dairy Journal*, 12(6), 525-540. doi:[https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00043-2)
- Sampaio, G. R., Castellucci, C. M., e Silva, M. E. M. P., & Torres, E. A. (2004). Effect of fat replacers on the nutritive value and acceptability of beef frankfurters. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(3-4), 469-474. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.03.016>
- Zetzl, A. K., Marangoni, A. G., & Barbut, S. (2012). Mechanical properties of ethylcellulose oleogels and their potential for saturated fat reduction in frankfurters. *Food & function*, 3(3), 327-337. doi:<https://doi.org/10.1039/C2FO10202A>

Zhu, X.-F., Zhang, N., Lin, W.-F., & Tang, C.-H. (2017). Freeze-thaw stability of pickering emulsions stabilized by soy and whey protein particles. *Food hydrocolloids*, 69, 173-184. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.001>

Zhu, X.-F., Zheng, J., Liu, F., Qiu, C.-Y., Lin, W.-F., & Tang, C.-H. (2018). Freeze-thaw stability of Pickering emulsions stabilized by soy protein nanoparticles. Influence of ionic strength before or after emulsification. *Food hydrocolloids*, 74, 37-45. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.017>

## Investigation of Oleogel Properties Prepared by Pickering Emulsion-Templated Stabilized with Solid Particles of Basil Seed Gum and Isolated Soy Protein as a Fat Substitute in Cream

Sima Naji-Tabasi<sup>1</sup>, Elham Mahdian<sup>2\*</sup>, Akram Arianfar<sup>2</sup>, Sara Naji-Tabasi<sup>3</sup>

1- PhD. Graduated, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

\* Corresponding author (elhamahdian@iauq.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

### Abstract

According to the multiple role of fat in food products, it is necessary to use a substance as a substitute of fat to maintain the rheological, texture and sensory characteristics of low-fat products. In this study, oleogel system was applied to produce low-fat product. Pickering emulsion-templated was applied to produce oleogels. Isolated soy protein (ISP) and basil seed gum (ISP-BSG) were used for the preparation of Pickering. ISP-BSG particles were prepared with different mass ratios of ISP-BSG, 1:0, 1:1, 2:1 and 3:1 and named 1S:0B, 1S:1B, 2S:1B and 3S:1B, respectively. The type and structure of the Pickering used affected the amount of oil retention in the oleogel ( $P < 0.05$ ). The presence of basil seed gum in a suitable ratio with protein (2S:1B) caused a more stable oleogel, higher mechanical strength, and more compact network. Finally, the oleogels were prepared with better oil bonding capacity. The highest and lowest thermal stability rates were for the 2S:1B and 1S:1B samples, respectively. The highest and lowest consistency levels were observed in 2S:1B and 1S:0B samples, respectively ( $P < 0.05$ ). Investigation of the viscoelastic properties confirmed the gel formation in the oleogel system. According to the stability and textural properties of oleogel samples, two formulas 1S:0B and 2S:1B were used to produce cream with reduced fat (5, 10 and 15%). The highest overall acceptance was obtained in the 2S:1B sample with a 5% reduction in fat, which had no significant difference with control cream.

**Keywords:** Cream, Emulsion gel template, Oleogel, Pickering, Protein-polysaccharide complex