

علمی پژوهشی

بررسی اثر غلظت زیست پلیمرهای سدیم کازئینات و صمغ زانتان بر قابلیت تولید اولئوژل بر اساس سیستم امولسیون روغن در آب

مریم مرادعباسی^۱، سید امیرحسین گلی^{۲*}، گلی فیاض^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- فارغ التحصیل مقطع دکتری، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۱)

چکیده

محققین صنعت غذا به منظور کاهش اثرات نامطلوب مصرف چربی اشباع، هیدروژنه و ترانس به دنبال جایگزین‌هایی مناسب برای چربی جامد می‌باشند که از جمله آن‌ها به کارگیری سیستم جدید "اولئوژل" است. از روش‌های تولید اولئوژل می‌توان به روش تهیه امولسیون اشاره کرد. بنابراین، هدف از این مطالعه تهیه اولئوژل به روش تولید امولسیون با استفاده از زیست پلیمرهای سدیم کازئینات (امولسیفایر) و صمغ زانتان (تغلیظ کننده) است. برای بررسی امکان تولید اولئوژل به این روش، ابتدا امولسیون‌هایی با نسبت‌های متفاوت از دو زیست پلیمر سدیم کازئینات (۲٪ و ۴٪) و صمغ زانتان (۰/۲٪ و ۰/۴٪) به همراه روغن گیاهی (۶۰٪ وزنی/ وزنی) تهیه و سپس اندازه ذرات، پتانسیل زتا، تصاویر میکروسکوپی و خواص رئولوژیک (ویسکوزیته، مدول اتلافی و ذخیره) امولسیون‌ها مطالعه شد. بر اساس نتایج حاصل، افزایش غلظت سدیم کازئینات باعث کاهش معنا دار اندازه قطرات روغن شد اما اثر غلظت زانتان بر این پارامتر معنادار نبود به طوریکه اندازه قطرات در نمونه CX44 به ۱۳/۷۵ میکرون کاهش یافت. ($P>0.05$). نتایج حاصل از آزمون رئولوژیکی بیشتر بودن مدول ذخیره را نسبت به مدول اتلافی نشان داد که بیانگر تشکیل ژل قوی برای تولید اولئوژلی با بافت مطلوب می‌باشد. در ادامه با استفاده از خشک کن انجمادی، اولئوژل تهیه شد. نتایج حاصل از بررسی سفتی بافت نمونه‌های خشک شده و نشت روغن در اولئوژل‌های مربوطه اثر غلظت دو زیست پلیمر را معنادار نشان داد و با افزایش غلظت، سفتی بافت افزایش و نشت روغن کاهش یافت؛ به طوریکه در نمونه حاوی بیشترین غلظت از دو زیست پلیمر (CX44)، سفتی بافت به ۱۸/۲۲ نیوتون و نشت روغن به ۰/۱۶۲٪ رسید. بنابراین، روش تهیه امولسیون راهکاری مناسب برای تولید اولئوژلی با ویژگی‌های مطلوب جهت جایگزینی در محصولات با چربی اشباع و ترانس بالا به شمار می‌آید که می‌تواند ضامن سلامتی افراد جامعه باشد.

کلید واژگان: اولئوژل، امولسیفایر، تغلیظ کننده، خشک کن انجمادی، رئولوژی.

* مسئول مکاتبات: amirgoli@cc.iut.ac.ir

۱- مقدمه

با توجه به اثرات سوء اسیدهای چرب اشباع و ترانس بر سلامت مصرف کننده و تاکید کاهش این نوع چربی ها در رژیم غذایی، محققان در سال های اخیر به دنبال روش هایی برای تولید چربی های جامد بدون ترانس با ویژگی های مطلوب هستند؛ از جمله این روش ها می توان به راهکار جدید با عنوان اولئوژل اشاره کرد. اولئوژل، سیستم نیمه جامدی می باشد که از به دام افتادن روغن های مایع گیاهی (با اشباعیت کمتر و بدون ترانس) در یک شبکه ساختار یافته (نظیر زیست پلیمرها) حاصل شده و نهایتاً ساختار ژل ماندی تشکیل می دهند که علاوه بر عدم وجود ترانس و اشباعیت کمتر، خصوصیات رئولوژیکی، ویسکوالاستیسی، قابلیت پخش پذیری، سفتی و سایر خصوصیات مطلوب مشابهی با چربی جامد ایجاد می کند. روش رایج تهیه اولئوژل حل کردن مستقیم اولئولاتور (ترکیبات تشکیل دهنده ژل) در روغن است، به عبارت دیگر اولئولاتورهای کاربردی باید قابلیت حل شدن در روغن را داشته باشند [۴]. در این روش اولئولاتور با روغن مخلوط شده، سپس مخلوط حاصله تا دمای ذوب اولئولاتور مورد استفاده حرارت دیده تا کاملاً در روغن ذوب و پخش شود و مخلوط شفاف به دست آید. بعد از حل شدن کامل اولئولاتور، مخلوط تا دمای اتاق خنک شده و اولئوژل شکل می گیرد. [۵ و ۱۸]. با این حال تهیه اولئوژل به روش مستقیم، نیازمند درجه حرارت بالا است (با توجه به اولئولاتور کاربردی حرارت دهی متفاوت است) که باعث اکسیداسیون، و از بین رفتن یا کاهش مواد مغذی موجود در روغن می شود؛ به همین علت محققان به دنبال روش هایی هستند تا مرحله ی حرارت دهی حذف و کیفیت روغن حفظ شود تا بتوان از این روغن ژل شده بدون محدودیت در مواد غذایی مختلف استفاده کرد [۱۴]. از این رو روش های دیگر تولید اولئوژل با استفاده از زیست پلیمرها معرفی شده اند که می توان به روش تهیه امولسیون اشاره کرد. اساس تولید اولئوژل در این روش بر پایه ی تهیه امولسیون روغن در آب است، به این صورت که روغن مایع هیدروفوب در ماتریکسی از زیست پلیمرهای

محلول در آب به دام می افتد که طی دو مرحله ی ساده صورت می گیرد: ۱) فرموله کردن امولسیون روغن در آب که با یک زیست پلیمر نظیر پروتئین یا پلی ساکارید پایدار می شود و در ادامه ۲) خارج کردن کامل فاز آبی (خشک کردن یا با دمای بالا و یا با دمای پایین) که نتیجه آن تولید ژل روغنی است که حاوی میزان زیادی روغن مایع است (بیش از ۹۷ درصد وزنی) [۱۷]. امولسیون توسط زیست پلیمرهای فعال سطحی (مانند پروتئین ها) تشکیل شده و با زیست پلیمرهای غیر فعال سطحی (مانند پلی ساکاریدها) پایدار می شود. عامل فعال سطحی با کاهش کشش سطحی در سطح قطرات روغن، از بروز ناپایداری الحاق و خامه ای شدن جلوگیری می کند در حالی که عامل پایدار کننده با افزایش ویسکوزیته محیط سبب محدودیت حرکت قطرات روغن شده که همانند ترکیب فعال سطحی از الحاق قطرات جلوگیری کرده و به پایداری امولسیون کمک می کند [۱۳].

بررسی خصوصیات امولسیون تولیدی بر پایه ی زیست پلیمر، از جمله مراحل مهم در تولید اولئوژل به این روش می باشد به طوریکه نتایج حاصل از ویژگی های امولسیون می تواند به پیش بینی قابلیت تولید یا عدم تولید اولئوژل بپردازد. از این رو پاتل و همکاران (۲۰۱۴) به منظور تولید اولئوژل از HPMC^۱ و MC^۲ (به عنوان ترکیبات فعال سطحی) با ویسکوزیته متفاوت به همراه صمغ زانتان، امولسیون تهیه کردند. آنها بیان کردند که هرچه ویسکوزیته امولسیفایر کمتر بود، اندازه ی قطرات کوچک تر شد چراکه امولسیفایر با ویسکوزیته ی کمتر، بهتر هیدراته شده و باعث تشکیل امولسیون پایدارتر می شود و در ادامه می تواند در تهیه اولئوژلی پایدار موثر باشد [۱۴]. از طرفی در مطالعه ی جیانگ و همکاران (۲۰۱۸)، بررسی اثر غلظت سلولز بازسازی شده^۳ به عنوان امولسیفایر بر خصوصیات رئولوژیکی امولسیون نشان داد که افزایش غلظت امولسیفایر با افزایش قدرت ژل و مدول ذخیره امولسیون رابطه مستقیمی دارد که می تواند سبب تولید اولئوژلی با

1. Hydroxypropyl methyl cellulose
2. Methyl cellulose
3. Regenerated cellulose

قدرت ژل مطلوب شود. آن‌ها در ادامه از خشک کن انجمادی در مرحله‌ی خشک کردن استفاده کردند و مشاهده کردند که اولئوژل تولیدی نه تنها خصوصیات شبه جامد نشان داد بلکه بیش از ۹۷ درصد توانایی نگهداری روغن را داشت [۶]. منگ و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر تغلیظ کننده های متنوع (نظیر زانتان، صمغ گوار و ...) بر پایداری امولسیون‌های تولید شده با HPMC مشاهده کردند که تمامی امولسیون‌ها نسبت به جدایی فاز پایدار بوده اما امولسیون‌های حاوی سدیم آلزینات، کربوکسی متیل سلولز و صمغ دانه‌ی کتان رفتار مایع را با بیشتر بودن مدول اتلافی نسبت به مدول ذخیره نشان دادند که تأکیدی بر عدم تولید اولئوژل مطلوب با استفاده از این سه تغلیظ کننده بود [۹].

با توجه به روش آسان و غیر حرارتی تولید امولسیون، در این تحقیق تلاش می شود تا از زیست‌پلیمرهایی که قابلیت تولید و پایداری امولسیون را دارند استفاده شود. از آنجایی که سدیم کازئینات و صمغ زانتان منشاء طبیعی دارند و به ترتیب دارای خاصیت فعالیت سطحی و تغلیظ کنندگی هستند، سعی بر آن است که این دو زیست پلیمر برای تشکیل و پایداری امولسیون استفاده شود و اثر غلظت‌های مختلف آن‌ها بر ویژگی‌های امولسیون شامل تصاویر میکروسکوپی، اندازه قطرات روغن، پتانسیل زتا و خصوصیات رئولوژیکی به منظور تعیین قابلیت تشکیل یا عدم قابلیت تشکیل اولئوژل بررسی شود. در ادامه طی فرآیند خشک شدن امولسیون‌ها با استفاده از خشک کن انجمادی، اولئوژل تولید و اثر غلظت زیست پلیمرها بر سفتی محصول خشک و نشت روغن بررسی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

پودر سدیم کازئینات از شرکت بهتام پودر (کرج، ایران) و صمغ زانتان از شرکت آویژه فرجود پارس (تهران، ایران) تهیه شد. روغن تصفیه شده کانولا (بهشهر، ایران) از بازار محلی تهیه شد.

۲-۲- تهیه امولسیون و تعیین خصوصیات آن

در این بخش به منظور ارزیابی اثر غلظت سدیم کازئینات و صمغ زانتان بر خصوصیات امولسیون ۶ نوع تیمار با درصدهای

مختلف از زیست‌پلیمرهای ذکر شده مطابق جدول ۱ تهیه شد. محلول‌های سدیم کازئینات ۲ و ۴ درصد وزنی-وزنی به روش پاتل و همکاران (۲۰۱۴) تهیه شد [۱۴]. مطابق با جدول ۱ به ترتیب مقادیر ۲ و ۴ گرم از پودر سدیم کازئینات توزین و مقداری آب دیونیزه به آن‌ها اضافه شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق (۲۵ درجه‌ی سلسیوس) با کمک همزن مغناطیسی (آیکا^۱ مدل T25 digital، آلمان) پودر پروتئینی کاملاً حل شد تا محلول یک دست سفید رنگی به دست آید. سپس ۶۰ گرم روغن کانولا به صورت قطره قطره^۲ تحت همزدن مداوم در ۱۳۰۰۰ دور بر دقیقه با استفاده از همزنایزر (آیکا مدل T25 digital، آلمان) به محلول‌های سدیم کازئینات افزوده شده تا امولسیون تشکیل شود.

به منظور پایداری امولسیون‌های تولیدی، ابتدا مقدار مشخصی از صمغ زانتان مطابق با جدول ۱ توزین و به آرامی به ظرف حاوی آب دیونیزه اضافه شد و سپس با کمک همزن مغناطیسی در دمای اتاق کاملاً حل و هیدراته شد و بلافاصله بعد از تشکیل امولسیون تحت همزدن مداوم به آن اضافه شد [۱۰].

Table 1 Sodium caseinate and xanthan gum concentration used to prepare the emulsions.

Samples	Sodium Caseinate (wt%)	Xanthan Gum (wt%)
C2	2	-
CX22	2	0.2
CX24	2	0.4
C4	4	-
CX42	4	0.2
CX44	4	0.4

۲-۲-۱- ریز ساختار

ریز ساختار امولسیون با استفاده از میکروسکوپ نوری (نیکون اکلیپس^۳ مدل E600، ژاپن) در دمای اتاق بررسی شد. بلافاصله پس از تهیه امولسیون‌ها، نمونه‌ها روی یک لام میکروسکوپی به صورت یک لایه بسیار نازک پخش شده و توسط لامل شیشه‌ای پوشانده شدند. سپس، تصاویر میکروسکوپی با بزرگنمایی ۴۰× مشاهده و توسط دوربین دیجیتال ضبط شد [۶].

1. IKA
2. Dropwise
3. Nikon Eclipse

۲-۲-۲- سائز قطرات

سائز قطرات روغن در امولسیون ها با استفاده از نرم افزار ImageJ اندازه گیری شد. این نرم افزار یک برنامه تجزیه و تحلیل تصویر با سیستم عامل جاوا^۱ می باشد که توسط موسسه ملی بهداشت ایالات متحده تهیه شده است. از این نرم افزار برای تشخیص، شمارش و همچنین اندازه گیری سائز قطرات کروی در تصاویر میکروسکوپی استفاده می شود. برای آنالیز سائز قطرات تصاویر میکروسکوپی، با استفاده از نوار ابزار تعیین مقیاس^۲ طول استاندارد برای نرم افزار تعریف شد. سپس تصاویر میکروسکوپی نمونه های امولسیونی به فرمت ۸ بیتی تبدیل شد و برای شناسایی قطرات توسط نرم افزار تصاویر به صورت سیاه و سفید درآمدند. بعد از مراحل ذکر شده با استفاده از گزینه ی "تحلیل ذرات"^۳ سائز قطرات مشخص شد [۵].

۲-۲-۳- پتانسیل زتا

برای اندازه گیری پتانسیل زتا امولسیون ها از دستگاه زتا سائزر (هوریبا، مدل SZ100، ژاپن) استفاده شد. ابتدا مقداری از نمونه ها در لوله های آزمایش با آب دیونیزه رقیق شد به طوریکه محلول هر نمونه رنگ نسبتاً شفاف پیدا کرد؛ سپس قبل از قرائت دستگاه، لوله ها به خوبی تکان داده شد تا مخلوط یکنواختی بدست آمد. پتانسیل زتا نمونه های امولسیونی پس از آماده سازی نمونه ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه گیری و میانگین سه قرائت گزارش شد [۱۷].

۲-۲-۴- رئولوژی

برای اندازه گیری خصوصیات رئولوژیکی از دستگاه رئومتر (آنتون پار^۴ مدل Physica MCR 301، اتریش) مجهز به سیستم کنترل دما استفاده شد. اندازه گیری خصوصیات رئولوژیکی مدول الاستیک یا ذخیره (G') و مدول ویسکوز یا اتلافی (G'') با پروب صفحه ای موازی به قطر ۵۰ میلی متر انجام شد. حدود ۵ گرم امولسیون درون ظرف دستگاه ریخته شده و فاصله پروب با نمونه ۱ میلی متر تنظیم شد. برای اندازه گیری ناحیه ویسکوالاستیک خطی آزمایش تنش برشی^۵ در طیف وسیعی از دامنه کرنش^۶ ۱۰۰-۰/۰۵ درصد تحت

فرکانس زاویه ای ۱ رادیان بر ثانیه انجام شد. تست رفت و برگشتی فرکانس نیز در کرنش ثابت ۰/۵ درصد در محدوده فرکانس ۱۰۰-۰/۱ هرتز انجام شد. برای بررسی بیشتر رفتار رئولوژیکی در همان محدوده آزمایش رفت و برگشتی فرکانس، مقدار ویسکوزیته کمپلکس^۷ نیز گزارش شد. تمامی موارد ذکر شده در دمای ۵ درجه سلسیوس صورت گرفت [۱۰].

۲-۳- تهیه محصول خشک و اولئوژل با

استفاده از خشک کن انجمادی

در این بخش ابتدا به تهیه اولئوژل با استفاده از خشک کن انجمادی پرداخته به طوریکه شش نمونه ی امولسیونی مطابق بخش ۲-۲ با غلظت های متفاوتی از دو زیست پلیمر سدیم کازئینات و زانتان تهیه شد و بلافاصله پس از آماده سازی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۸- درجه سلسیوس منجمد شدند و به دنبال آن در حدود ۴۸ ساعت در خشک کن انجمادی (دنا وکیوم مدل FD-5003-BT، ایران) قرار گرفتند؛ در انتهای این مرحله نمونه های خشک بدست آمد؛ سپس به منظور تولید اولئوژل، نمونه های خشک با استفاده از میکسر خانگی (مولینکس^۸، فرانسه) به مدت شش ثانیه هموژن شدند تا اولئوژل هایی با بافت یکنواخت به دست آید [۲۰ و ۲۱].

۲-۳-۱- سفتی بافت محصول خشک شده

نمونه های خشک شده، نمونه های واسط مهمی برای تهیه اولئوژل مطلوب هستند، به همین دلیل بررسی خصوصیات بافتی آن ها (از جمله سفتی بافت) پارامتر مهمی محسوب می شود. بررسی سفتی محصول خشک شده با آزمایش نفوذ مطابق با روش پاتل و همکاران (۲۰۱۴) با تغییر مختصری با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (سنتام^۹ مدل SDM1، ایران) انجام شد. به منظور انجام این آزمایش از پروب استوانه ای به قطر ۱۰ میلی متر و سل ۲۰ کیلوگرم با سرعت نفوذ ۱۰۰ میلی متر در دقیقه، استفاده شد و حداکثر نیرو به عنوان نیروی نفوذ در عمق ۱۵ میلی متر گزارش شد [۱۷].

۲-۳-۲- نشت روغن اولئوژل ها

برای اندازه گیری این پارامتر از سانتریفیوژ (سیگما^{۱۰} مدل 6K15، آلمان) استفاده شد. ابتدا میکروتیوب های ۲ میلی

7. Complex viscosity
8. Moulinex
9. Santam
10. Sigma

1. Java
2. Set scale
3. Analyze particle
4. Anton paar
5. Shear stress
6. Strain

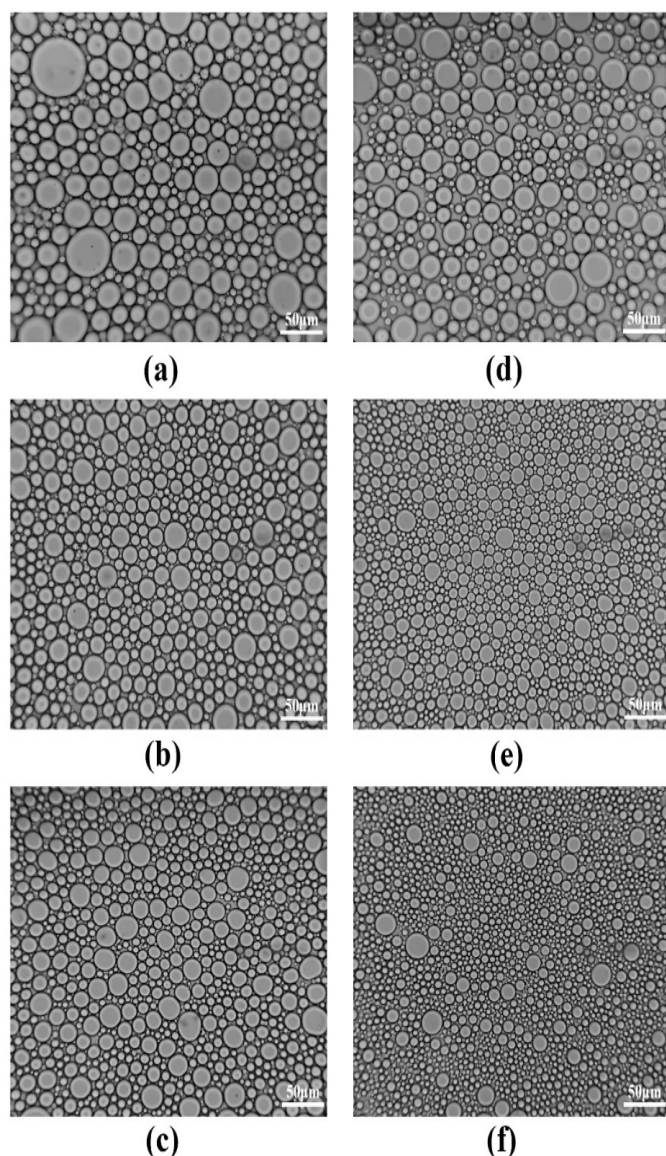


Fig 1 Optical microscopic images of emulsions prepared by different concentrations of sodium caseinate and xanthan gum: **a)** C2: sodium caseinate 2 wt% **b)** CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt% **c)** CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt% **d)** C4: sodium caseinate 4 wt% **e)** CX42: sodium caseinate 4-xanthan 0.2 wt% **f)** CX44: sodium caseinate 4-xanthan 0.4 wt%.

همانطور که از جدول مشخص است، سایز قطرات در محدوده‌ی ۲۴-۱۳ میکرون گزارش شد که بیشترین و کمترین اندازه‌ی قطرات روغن به ترتیب در نمونه‌های C2 (۲٪ سدیم کازئینات) و CX44 (۴٪ سدیم کازئینات و ۰/۴٪ صمغ زانتان) مشاهده شد. اثر سدیم کازئینات به تنهایی بر سایز قطرات روغن معنا دار گزارش شد ($p < 0/05$)؛ با این حال

لیتری خالی را وزن کرده و حدود ۱ تا ۱/۵ گرم نمونه اولئوژل در آنها توزین شد و در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای اتاق (۲۵ درجه‌ی سلسیوس) به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد، سپس روغن اضافی سطح میکروتیوب‌ها کاملاً درون ظرفی ریخته شد و مجدداً میکروتیوب‌ها وزن شدند. درصد نشت روغن از معادله زیر به دست آمد.

(۱)

$$\text{درصد نشت روغن} = [(m_1 - m_0) - (m_2 - m_0)] / (m_1 - m_0) \times 100$$

در معادله‌ی فوق m_0 ، m_1 و m_2 به ترتیب جرم میکروتیوب‌های خالی، جرم میکروتیوب‌های پر شده با اولئوژل قبل از سانتریفیوژ و جرم اولئوژل به همراه میکروتیوب‌ها پس از سانتریفیوژ است [۱۰].

۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمامی آزمایش‌ها حداقل با دو تکرار^۱ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار^۲ گزارش شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با آنالیز واریانس^۳ (ANOVA) و آزمون مقایسه میانگین نیز به روش حداقل تفاوت معنادار^۴ (LSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم افزار تحلیل آماری^۵ انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ریزساختار و سایز قطرات

تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های امولسیون در شکل ۱ نشان داده شده است. آنچه که در این تصاویر قابل مشاهده است، این است که به دلیل غلظت زیاد روغن در امولسیون (۶۰ درصد وزنی/ وزنی)، تراکم و تعداد قطرات روغن در نمونه‌ها زیاد می‌باشد. همچنین ریزساختار نشان می‌دهد که با افزایش غلظت زیست پلیمرها اندازه قطرات کوچکتر شده است.

مقادیر سایز قطرات روغن (با توجه به اینکه از عوامل مهم در پایداری امولسیون‌ها محسوب می‌شود) در جدول ۲ گزارش شده است.

1. Replication
2. Standard deviation
3. Analysis of variance
4. The least significant difference
5. Statistix

اثر زانتان به تنهایی و همچنین اثر متقابل دو زیست پلیمر بر سائز قطرات روغن معنادار نبود ($p > 0.05$). همانطور که انتظار می رفت با افزایش غلظت سدیم کازئینات از ۲ به ۴ درصد وزنی-وزنی، اندازه قطرات به میزان قابل توجهی کاهش یافت ($p < 0.05$)، چراکه این پروتئین می تواند به عنوان یک امولسیفایر قوی در سطح آب و روغن قرار گرفته و کشش سطحی را کاهش دهد [۶]. همچنین، سدیم کازئینات می تواند بین قطرات روغن نیروی دافع الکترواستاتیک و استریک ایجاد کرده، که مانع نزدیک شدن قطرات به یکدیگر می شود [۸]. مطابق قانون استوک، هرچه قطرات روغن کوچکتر باشند، امولسیون حاصل پایداری بیشتری دارد زیرا قطرات کوچک در فاز پیوسته بهتر پراکنده شده و سرعت نزدیک شدن آنها به یکدیگر کمتر می شود و در نتیجه شکل گیری قطرات بزرگ تر یا به عبارتی پدیده ی الحاق دیرتر رخ می دهد [۱۲]. عدم معناداری در تغییر اندازه قطرات روغن با افزایش غلظت صمغ زانتان به این دلیل است که این پلی ساکارید فعال سطحی نبوده و به عنوان تغلیظ کننده عمل می کند که اهمیت زیادی در پایداری امولسیون دارد؛ به طوریکه در غلظت های بیشتری از صمغ زانتان، فضای بیشتری بین قطرات روغن اشغال شده و ویسکوزیته ی فاز آبی افزایش می یابد که باعث محدودیت حرکت قطرات روغن و عدم الحاق می شود [۱۰ و ۱۷].

در مطالعه ی پاتل و همکاران (۲۰۱۵)، افزایش غلظت ژلاتین از ۰/۶ به ۱/۶ درصد وزنی-وزنی منجر به کاهش اندازه قطرات روغن شد (۱۷). طبق پژوهش مگ و همکاران (۲۰۱۸) کاهش اندازه قطرات روغن در امولسیون، با افزایش غلظت HPMC مشاهده شد، زیرا غلظت های بالای این امولسیفایر باعث تشکیل چند لایه در اطراف قطرات روغن شده که این لایه ویسکوالاستیک باعث ایجاد پایداری بهتر امولسیون می شود [۱۰].

۳-۲- پتانسیل زتا

در سیستم های کلوئیدی بویژه امولسیون ها، اختلاف پتانسیل بین ذرات بار دار و فاز پیوسته با شاخصی به نام پتانسیل زتا

بیان می شود، در واقع پتانسیل زتا بهترین شاخص برای تعیین وضعیت الکتریکی سطحی دیسپرسیون هاست. در سیستم های امولسیونی، این اختلاف پتانسیل ناشی از بار سطحی قطرات و بخصوص ترکیب فعال سطحی (مثل زیست پلیمرها) می باشد. به طوریکه اگر مقادیر پتانسیل زتا کمتر از ۳۰- میلی ولت و بیشتر از ۳۰+ میلی ولت باشد، امولسیون نسبت به جدایی فاز پایدار است [۱۲]. با توجه به جدول ۲، پتانسیل زتا نمونه های امولسیونی بین ۵۸/۷۳- و ۸۶/۳۰- بود که بسیار کمتر از ۳۰- میلی ولت است. به دلیل تاثیر گروه های آمینی و کربوکسیلی موجود در ساختار سدیم کازئینات، نقطه ایزوالکتریک این پروتئین در محدوده ی ۵-۵/۵ است و از آنجایی که pH امولسیون حدود ۶/۲ بود (بالتر از نقطه ی ایزوالکتریک سدیم کازئینات است)، سطح پروتئین دارای بار منفی می باشد [۸]. با این حال همه ی مقادیر منفی پتانسیل زتا به تنهایی وابسته به سدیم کازئینات نیست به طوریکه پاتل و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که صمغ زانتان یک زیست پلیمر آنیونی است، چرا که با یونیزه شدن گروه های پیرووات و گلوکورونیک موجود در زنجیره جانبی تری ساکاریدی آن، بار منفی در سطح این مولکول ایجاد می شود [۱۷]. اثر سدیم کازئینات و زانتان به تنهایی و همچنین اثر متقابل آنها بر پتانسیل زتا نمونه های امولسیونی معنادار بود، به طوریکه با افزایش غلظت سدیم کازئینات از ۲ به ۴ درصد وزنی، مقادیر پتانسیل زتا افزایش یافت و همین اتفاق در مورد افزایش غلظت صمغ زانتان و نسبت های مختلف این دو زیست پلیمر در تهیه امولسیون ها نیز مشاهده شد. چیورو و همکاران (۲۰۱۵) برای تهیه امولسیون از پلی ساکارید محلول دانه ی سویا و صمغ گوار به عنوان تغلیظ کننده استفاده کردند؛ آنها مشاهده کردند با افزایش غلظت صمغ گوار، پتانسیل زتا افزایش یافت که این نتیجه در اثر فشرده تر شدن ساختار امولسیفایر در سطح قطرات روغن بود؛ در ادامه برای بررسی اثر نوع تغلیظ کننده بر پتانسیل زتا از صمغ زانتان نیز استفاده کردند به طوریکه افزایش غلظت آن باعث کاهش مقادیر پتانسیل زتا شد که می تواند به دلیل تغییر در ساختار شیمیایی تغلیظ کننده باشد [۳].

Table 2 Droplet size and zeta potential of emulsion samples.

Samples	Emulsions	
	Droplet Size (μm)	ζ -potential (mV)
C2	24.11 \pm 0.14 ^a	-86.30 \pm 1.9 ^c
CX22	21.67 \pm 0.80 ^{ab}	-80.63 \pm 2.2 ^d
CX24	19.50 \pm 3.28 ^{ab}	-75.56 \pm 1.5 ^c
C4	14.82 \pm 3.32 ^{bc}	-58.73 \pm 1.0 ^a
CX42	14.37 \pm 1.72 ^{bc}	-73.50 \pm 2.6 ^c
CX44	13.75 \pm 1.12 ^c	-69.76 \pm 2.0 ^b

Various letters in each column show significant differences among mean values ($p < 0.05$).

C2: sodium caseinate 2 wt%, CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt%, CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt%, C4: sodium caseinate 4 wt%, CX42: sodium caseinate 4-xanthan 0.2 wt%, CX44: sodium caseinate 4-xanthan 0.4 wt%.

۳-۳- رئولوژی

خصوصیات رئولوژیکی امولسیون‌ها به منظور بررسی اثر غلظت سدیم کازئینات و صمغ زانتان بر روی این ویژگی مورد بررسی قرار گرفت. هر شش نمونه‌ی امولسیونی طی آزمون تنش برشی در دامنه وسیعی از کرنش، رفتار شبه جامد را با توجه به بالاتر بودن مدول ذخیره (G' : نشان دهنده الاستیک بودن سیستم) از مدول اتلافی (G'' : نشان دهنده رفتار ویسکوز است)، در ناحیه ویسکوالاستیک خطی نشان دادند؛ به این معناکه رفتار الاستیک در امولسیون نسبت به رفتار ویسکوز غالب بوده که تاییدی بر رفتار شبه جامد امولسیون است (شکل ۲ الف و ب). افزایش در غلظت سدیم کازئینات، غلظت صمغ زانتان و مجموع غلظت کل زیست‌پلیمرها، موجب افزایش مدول ذخیره شد؛ به طوریکه مدول ذخیره برای نمونه با کمترین مجموع غلظت زیست پلیمر (C2) 1.04×10^2 پاسکال و برای امولسیون با بیشترین مجموع غلظت زیست پلیمر (CX44) 3.60×10^3 پاسکال در کرنش ۰/۰۵ درصد، بود که نشان دهنده‌ی اثر قوی غلظت زیست پلیمر بر پایداری امولسیون‌ها در برابر تغییر شکل^۱ است؛ همچنین افزایش غلظت زیست‌پلیمرها باعث می‌شود تا قدرت ژل افزایش یابد [۱۶]. با افزایش در تنش، مقاومت ماده در برابر تغییر شکل کمتر شده به طوریکه نمودار مدول ذخیره دیگر خطی نبوده و روند نزولی یافته تا جایی که به نمودار مدول اتلافی برخورد می‌کند؛ محل تلاقی دو نمودار^۲ نشان دهنده‌ی برابر شدن

مقادیر مدول ذخیره و اتلافی است و درصد کرنش در این نقطه به عنوان کرنش تسلیم^۳ بیان می‌شود و از نقطه‌ی تلاقی به بعد مقادیر مدول اتلافی بیشتر از مدول ذخیره می‌شود که نشان دهنده‌ی غالب شدن رفتار ویسکوز بر رفتار الاستیک بوده و پس از این رفتار شبه جامد در نمونه‌ها دیده نمی‌شود. هر چه تلاقی دو نمودار در کرنش‌های بالاتری رخ دهد، بیانگر پایداری بهتر ماده در برابر تغییر شکل است؛ به همین ترتیب، با توجه به شکل ۲ (الف)، از محدوده‌ی کرنش ۲۰ تا ۱۰۰ درصد، تمامی نمودارهای مدول ذخیره روند نزولی داشته و کرنش تسلیم در نقطه‌ی برابری مدول ذخیره و اتلافی، با افزایش غلظت سدیم کازئینات، صمغ زانتان و مجموع غلظت کل دو زیست پلیمر نیز افزایش یافت؛ به طوریکه این نقطه در دو نمونه‌ی CX42 و CX44 (با بیشترین مجموع غلظت زیست‌پلیمرها) دیده نشد، که نشان دهنده‌ی افزایش قدرت مکانیکی ژل با افزایش غلظت است. پدیده‌ی مشابه توسط لو و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده شد؛ آن‌ها نتیجه گرفتند که هرچه از غلظت‌های بیشتر پکتین مرکبات استفاده شود، ساختار قوی‌تری از امولسیون تشکیل می‌شود، به طوریکه برابری مدول ذخیره و اتلافی در کرنش تسلیم بالاتری رخ داد [۷]. پاتل و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند که با افزایش غلظت ترکیب صمغ دانه‌ی خرنوب و کاراگینان نه تنها G' در امولسیون‌ها افزایش یافت بلکه در کرنش تسلیم نیز افزایش مشاهده شد [۱۶].

1. Deformation
2. Cross over point

3. Yield strain

(طی افزایش قدرت مکانیکی ژل با افزایش غلظت) قابل توجه است؛ چراکه با افزایش غلظت زیست پلیمرها، قطرات روغن توسط میزان بیشتری از امولسیفایر و تغلیظ کننده احاطه شده و حرکت آن‌ها محدود می‌شود. علاوه بر این، افزایش غلظت صمغ زانتان سبب افزایش ویسکوزیته‌ی فاز پیوسته و تشکیل شبکه قوی تر و رفتار شبه جامد در امولسیون می‌شود [۱۰]. پاتل و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که در امولسیون‌های ژلاتین-زانتان، بیشترین میزان مدول ذخیره مربوط به نمونه حاوی بیشترین غلظت از این زیست پلیمرها بود، همچنین افزایش شیب منحنی مدول ذخیره حین افزایش فرکانس دیده شد که نشان دهنده‌ی وابستگی مدول ذخیره به فرکانس و ضعیف بودن ژل تولیدی است [۱۷].

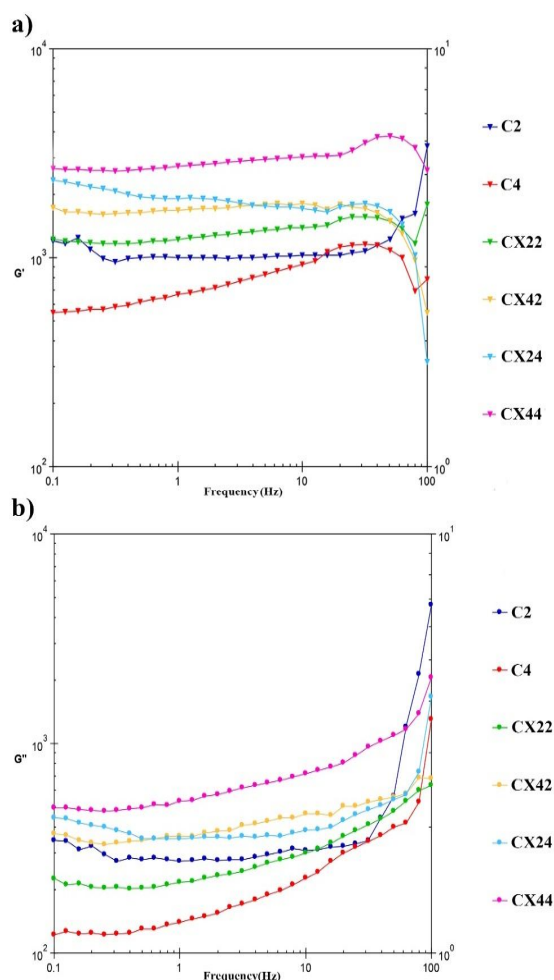


Fig 3. Frequency sweep (a, b) curves of emulsions prepared by different concentrations of sodium caseinate and xanthan gum. C2: sodium caseinate 2 wt%, CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt%, CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt%, C4: sodium caseinate 4 wt%, CX42: sodium caseinate 4-xanthan 0.2 wt%, CX44: sodium caseinate 4-xanthan 0.4 wt%.

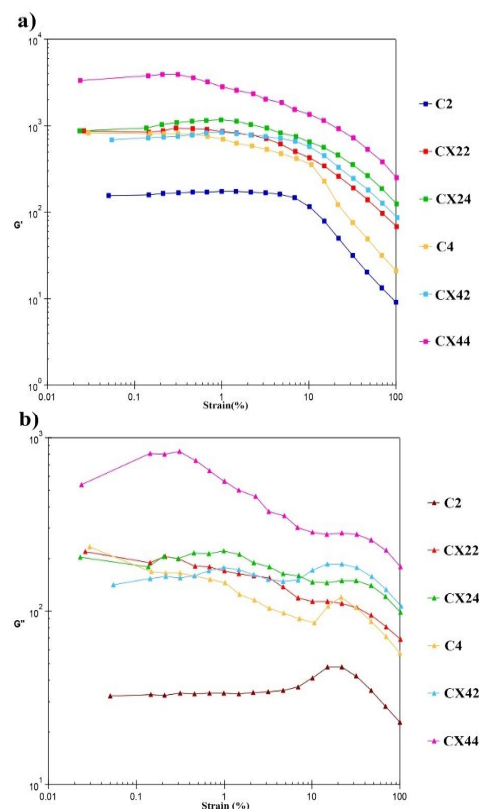


Fig 2 Amplitude sweep (a, b) curves of emulsions prepared by different concentrations of sodium caseinate and xanthan gum. C2: sodium caseinate 2 wt%, CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt%, CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt%, C4: sodium caseinate 4 wt%, CX42: sodium caseinate 4-xanthan 0.2 wt%, CX44: sodium caseinate 4-xanthan 0.4 wt%.

به منظور بررسی بیشتر قدرت ژل در امولسیون، آزمون فرکانس رفت و برگشتی در دامنه فرکانس ۰/۱ - ۱۰۰ هرتز انجام شد؛ تمامی شش نمونه‌ی امولسیونی مقاومت مکانیکی خوبی نسبت به فرکانس نشان دادند (شکل ۳ الف و ب)؛ چراکه در تمام دامنه‌ی فرکانس، نه تنها $G' \gg G''$ بود، بلکه نمودار G' و G'' نیز تقریباً خطی است که عدم وابستگی G' و G'' به فرکانس را نشان می‌دهد و بیانگر خصوصیات شبه جامد امولسیون است؛ به طوریکه نمونه‌ی حاوی ۴٪ سدیم کازئینات و ۰/۴٪ صمغ زانتان (CX44) بیشترین مقدار مدول ذخیره را در فرکانس ۱۰۰ هرتز به خود اختصاص داد ($2/62 \times 10^3$ پاسکال). اثر افزایش غلظت سدیم کازئینات یا صمغ زانتان و حتی مجموع غلظت زیست پلیمرهای کاربردی در آزمون فرکانس، با نتایج حاصل از آزمون نوسان رفت و برگشتی

در بررسی ویسکوزیته‌ی کمپلکس (η^*): نسبت مدول کمپلکس^۱ (به بسامد زاویه‌ای) طی آزمون فرکانس (شکل ۴)، با افزایش غلظت هر دو زیست پلیمر و مجموع غلظت کل آن‌ها، این پارامتر نیز افزایش یافت، که می‌توان آن را به تأثیر غلظت زیست پلیمرها روی مقاومت مکانیکی امولسیون (با توجه به اینکه افزایش G' ، با افزایش غلظت هر یک از زیست پلیمرها و مجموع غلظت کل آن‌ها، طی آزمون نوسان رفت و برگشتی و آزمون فرکانس مشاهده شد)، نسبت داد. علاوه بر این، یک رابطه معکوس نیز بین فرکانس و ویسکوزیته‌ی کمپلکس (η^*) نمونه‌ها مشاهده شد؛ چرا که عدم وابستگی هر یک از مدول ذخیره و اتلافی به فرکانس، سبب ثابت بودن مدول کمپلکس ($G' + G''$) می‌شود [۱۹] که با افزایش فرکانس، تنها بسامد زاویه‌ای افزایش یافته و با توجه به نسبت عکس ویسکوزیته کمپلکس و بسامد زاویه‌ای، این پارامتر کاهش می‌یابد [۱۴].

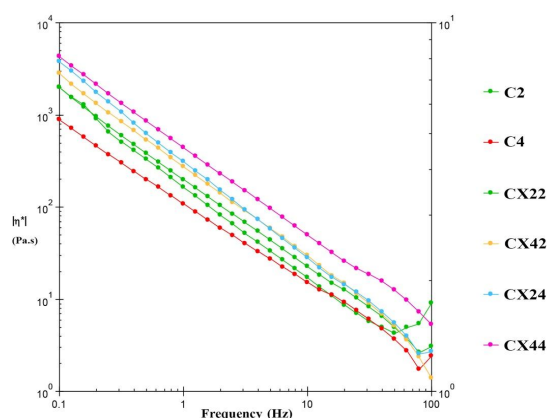


Fig 4 Complex viscosity curves of emulsions under applying frequency.

C2: sodium caseinate 2 wt%, CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt%, CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt%, C4: sodium caseinate 4 wt%, CX42: sodium caseinate 4-xanthan 0.2 wt%, CX44: sodium caseinate 4-xanthan 0.4 wt%.

۳-۴- سفتی بافت محصول خشک شده

به منظور بررسی اثر غلظت های مختلف زیست پلیمرها بر خصوصیات بافتی محصول، سفتی محصولات خشک شده حاصل از خشک کن انجمادی بررسی شد. اثر سدیم کازئینات و زانتان به تنهایی بر سفتی بافت محصول خشک شده معنادار بود اما در اثر متقابل آن‌ها تفاوت معناداری مشاهده نشد. باتوجه به بررسی خواص رئولوژیکی امولسیون، اثر افزایش

غلظت زیست پلیمر سدیم کازئینات و یا صمغ زانتان، در افزایش سفتی بافت محصول خشک شده، قابل پیش بینی بود چراکه افزایش مقدار امولسیفایر باعث تشکیل لایه‌ای قوی‌تر و با ضخامت بیشتر در اطراف قطرات روغن شده که حرکت آن‌ها را محدود می‌کند. همچنین افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته در اثر افزایش غلظت صمغ زانتان، همانند اثر امولسیفایر، باعث محدود شدن حرکت قطرات روغن و تشکیل شبکه قوی‌تری در فاز آبی (پیوسته) امولسیون می‌شود که در پایداری این شبکه قوی حین فرآیند خشک شدن موثر است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت سدیم کازئینات، سفتی بافت افزایش یافته به طوریکه در غلظت ۲٪ سفتی بافت ۰/۷۷ نیوتون و در غلظت ۴٪ سدیم کازئینات، ۶/۲۶ نیوتون بدست آمد؛ در واقع با افزایش غلظت زیست پلیمرها، شبکه‌ی فشرده‌تری شکل گرفته که نسبت به تنش‌های خارجی (مانند اثر نیرو بر بافت محصول) مقاوم‌تر است؛ بنابراین انتظار می‌رفت محصولات خشک با غلظت‌های بیشتر دو زیست پلیمر، بافت سفت‌تری داشته باشند به طوریکه نمونه‌ی CX44 نسبت به سایر نمونه‌ها سفت‌تر بود. این نتایج با نتایج حاصل از کلیه آزمون‌های انجام شده بر نمونه‌های امولسیونی نیز مطابقت دارد. اثر مشابه غلظت زیست پلیمر بر مقدار سفتی محصول خشک شده توسط لو و همکاران (۲۰۱۹) در تهیه اولئوژل بر پایه‌ی سیستم امولسیونی با استفاده از خشک کن انجمادی، نیز مشاهده شد. آن‌ها نشان دادند که سفتی محصولات خشک شده با افزایش غلظت پکتین مرکبات از ۱/۵ به ۴/۵ درصد وزنی-حجمی حدود دو برابر افزایش یافت [۷]. در پژوهش مشابه برای تولید اولئوژل به روش تشکیل امولسیون، منگ و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند، با افزایش غلظت HPMC از ۰/۲ به ۱ درصد وزنی، سفتی محصول خشک (حاصل از خشک کن انجمادی) ۲/۵ برابر بیشتر شد. هر چه ساختار محصول خشک شده فشرده‌تر باشد، بافت آن نسبت به نیرو مقاوم‌تر بوده و محصول در برابر سایر تنش‌های محیطی که ممکن است حین انبارداری یا حمل و نقل رخ دهد، پایدارتر است [۱۰].

۳-۵- نشت روغن اولئوژل‌ها

پارامتر مهمی که توانایی ساختار اولئوژل در نگهداری روغن را نشان می‌دهد، "درصد نشت روغن" است. اثر سدیم کازئینات و زانتان به تنهایی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر این پارامتر

معنادار بود ($p < 0.05$)، به طوریکه با افزایش غلظت امولسیفایر، صمغ زانتان و همچنین با افزایش مجموع غلظت کل زیست پلیمرها مورد استفاده، میزان نشت روغن در اولئوژل کاهش یافت. با توجه به نتایج رئولوژی امولسیون ها و مشاهده ی بهتر شدن رفتار شبه جامد با افزایش غلظت زیست پلیمرها، انتظار می رفت تا کمترین نشت روغن نیز در نمونه ی حاوی بیشترین غلظت از زیست پلیمرها مشاهده شود. همانطورکه در جدول ۳ مشاهده می شود، کمترین میزان نشت روغن به اولئوژل با بیشترین مجموع غلظت زیست پلیمرها اختصاص دارد به طوریکه در نمونه CX44 نشت روغن ۰/۱۶۲ درصد بود. در واقع افزایش غلظت زیست پلیمرها نه تنها باعث افزایش ویسکوزیته ی فاز پیوسته شده بلکه از الحاق قطرات حین تشکیل امولسیون و فرآیند خشک کردن جلوگیری کرده که باعث کاهش نشت روغن می شود: از طرفی ترکیب دو ماده ی فعال سطحی (امولسیفایر) و غیر فعال سطحی (تغلیظ کننده) به ویژه پروتئین و پلی ساکارید، در سطح مشترک روغن و آب حین تشکیل امولسیون، می تواند از طریق پیوندهای کووالانسی و یا الکترواستاتیک رخ دهد که سبب شکل گیری سیستم پایدارتری نسبت به تهیه امولسیون تنها با استفاده از امولسیفایر، می شود. از طرفی علاوه بر اثر ترکیب زیست پلیمرها بر پایداری امولسیون و متعاقبا ثبات اولئوژل های تولیدی، انتخاب غلظت موثر از زیست پلیمرها در رسیدن به

شبکه ی پایدارتر نیز مهم است به طوریکه با افزایش غلظت زیست پلیمرها و افزایش تشکیل پیوندهای کووالانسی و الکترواستاتیک در سطح مشترک آب و روغن، سبب تشکیل شبکه قوی تری از زیست پلیمرها اطراف قطرات روغن حین تهیه امولسیون می شود که پس از خروج آب از سیستم، سبب ثبات بهتر اولئوژل در برابر نیروهای خارجی و سخت تر خارج شدن روغن از شبکه ی سه بعدی اولئوژل و پدیدار شدن رفتار شبه جامد می شود. مینگ و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه ای بر تشکیل اولئوژل بر پایه ی سیستم امولسیون، بیان کردند که افزایش غلظت HPMC، باعث افزایش میزان نگهداری روغن در ساختار اولئوژل شد به طوریکه بیشترین نشت روغن در اولئوژل با حداقل غلظت HPMC (۰/۲ درصد وزنی)، حدود ۱۸ درصد گزارش شد درحالیکه نشت روغن در اولئوژل با ۱ درصد وزنی HPMC حدود ۸ درصد بود [۱۰]. در مطالعه ی دیگری از مینگ و همکاران (۲۰۱۸)، اثر ویسکوزیته های مختلف HPMC و MC بر میزان نشت روغن مورد بررسی قرار گرفت. آن ها نتیجه گرفتند که اولئوژل های حاصل از ویسکوزیته های بیشتر HPMC و MC، توانایی بیشتری در نگهداری روغن داشتند چرا که با افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته، حرکت قطرات روغن محدود شده و پدیده ی الحاق در امولسیون و سپس اولئوژل تولیدی رخ نداد [۱۱].

Table 3 The hardness of freeze-dried (FD) products and oil loss of related oleogels.

Samples	FD-Products	FD-Oleogels
	Hardness (N)	Oil Loss (%)
C2	0.77±0.02 ^c	31.347±1.08 ^a
CX22	6.45±1.04 ^b	19.018±5.29 ^b
CX24	9.04±0.66 ^b	6.939±3.81 ^{cd}
C4	6.26±0.11 ^{bc}	9.671±1.15 ^c
CX42	11.49±0.06 ^b	1.651±0.50 ^{de}
CX44	18.22±5.51 ^a	0.162±0.05 ^e

Various letters in each column show significant differences among mean values ($p < 0.05$).

C2: sodium caseinate 2 wt%, CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt%, CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt%, C4: sodium caseinate 4 wt%, CX42: sodium caseinate 4-xanthan 0.2 wt%, CX44: sodium caseinate 4-xanthan 0.4 wt%.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از زیست پلیمرهای آبدوست سدیم کازئینات و صمغ زانتان برای تولید امولسیون های پایدار به منظور بررسی قابلیت تولید اولئوژل، استفاده شد. اهمیت این روش نه تنها در سادگی و کوتاه بودن مراحل تولید است بلکه با بررسی

ویژگی های امولسیون می توان به قابلیت یا عدم قابلیت تولید اولئوژل بر پایه ی سیستم امولسیونی دست یافت. همچنین عدم حرارت دهی و استفاده از زیست پلیمرهای متنوع در تهیه امولسیون و به دنبال آن تولید اولئوژل از بخش های قابل توجه سیستم امولسیونی است. بر اساس نتایج حاصل، افزایش غلظت سدیم کازئینات باعث کاهش معنا دار اندازه قطرات روغن شد

- [2] Abdolmaleki, K., Alizadeh, L., Nayeibzadeh, K., Hosseini, S. M. and Shahin, R. 2019. Oleogel production based on binary and ternary mixtures of sodium caseinate, xanthan gum, and guar gum: Optimization of hydrocolloids concentration and drying method. *Journal Of Texture Studies*. 2: 290–299.
- [3] Chivero, P., Gohtani, S., Yoshii, H. and Nakamura, A. 2015. Effect of xanthan and guar gums on the formation and stability of soy soluble polysaccharide oil-in-water emulsions. *Food Research International*. 70: 7-14.
- [4] Co, E. D. and Marangoni, A. G. 2018. Oleogels: An Introduction. In: *Edible Oleogels*. Elsevier. pp. 1-29.
- [5] Gering, E. and Atkinson, C. T. 2004. A rapid method for counting nucleated erythrocytes on stained blood smears by digital image analysis. *Journal Of Parasitology*. 90: 879-882.
- [6] Jiang, Y., Liu, L., Wang, B., Sui, X., Zhong, Y., Zhang, L., Mao, Z. and Xu, H. 2018. Cellulose-rich oleogels prepared with an emulsion-templated approach. *Food Hydrocolloid*. 77: 460-464.
- [7] Luo, S.-Z., Hu, X.-F., Jia, Y.-J., Pan, L.-H., Zheng, Z., Zhao, Y.-Y., Mu, D.-D., Zhong, X.-Y. and Jiang, S.-T. 2019. Camellia oil-based oleogels structuring with tea polyphenol-palmitate particles and citrus pectin by emulsion-templated method: Preparation, characterization and potential application. *Food Hydrocolloid*. 95: 76-87.
- [8] Ma, H., Forssell, P., Partanen, R., Seppanen, R., Buchert, J. and Boer, H. 2009. Sodium caseinates with an altered isoelectric point as emulsifiers in oil/water systems. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. 57: 3800-3807.
- [9] Meng, Z., Qi, K., Guo, Y., Wang, Y. and Liu, Y. 2018. Effects of thickening agents on the formation and properties of edible oleogels based on hydroxypropyl methyl cellulose. *Food Chemistry*. 246: 137-149.
- [10] Meng, Z., Qi, K., Guo, Y., Wang, Y. and Liu, Y. 2018. Macro-micro structure characterization and molecular properties of emulsion-templated polysaccharide oleogels. *Food Hydrocolloid*. 77: 17-29.
- [11] Meng, Z., Qi, K., Guo, Y., Wang, Y. and Liu, Y. 2018. Physical Properties, Microstructure, Intermolecular Forces, and Oxidation Stability of Soybean Oil Oleogels

به طوریکه اندازه قطرات روغن در نمونه های C2 و C4 به ترتیب ۲۴/۱۱ و ۱۴/۸۲ بود درحالیکه اثر غلظت زانتان بر اندازه قطرات معنادار نبود با این حال اثر آن بر پتانسیل زتا معنادار گزارش شد به طوریکه مقادیر آن بین ۸۶/۳- تا ۵۸/۷۳- گزارش شد که بیانگر پایداری بالای امولسیون‌ها نسبت به پدیده‌ی الحاق است. نتایج حاصل از آزمون رئولوژیکی در همه‌ی نمونه‌ها بیشتر بودن مدول ذخیره را نسبت به مدول اتلافی نشان داد که بیانگر تشکیل ژل قوی در نمونه‌های امولسیونی بود که تاکید بر قابلیت تولید اولئوژل با بافت مطلوب می‌باشد. در ادامه پس از تهیه محصول خشک و اولئوژل با استفاده از خشک کن انجمادی و مطالعه‌ی خصوصیات آنها، نتایج حاصل از بررسی سفتی بافت نمونه‌های خشک شده و نشت روغن در اولئوژل‌های مربوطه اثر غلظت دو زیست پلیمر را معنادار نشان داد، به طوریکه با افزایش غلظت سفتی بافت افزایش و نشت روغن کاهش یافت. به طور کلی می‌توان گفت الف) غلظت‌های بیشتر از سدیم کازینات منجر به تشکیل لایه‌ای ضخیم‌تر در اطراف قطرات روغن و عدم الحاق حین تشکیل امولسیون و در ادامه طی فرآیند تولید اولئوژل می‌شود، ب) با افزایش غلظت تغلیظ کننده یک شبکه قوی‌تر در فاز پیوسته امولسیون ایجاد شده که باعث تشکیل ژل قوی‌تر در نمونه‌های امولسیونی و در ادامه در اولئوژل می‌شود و ج) استفاده از مقادیر بیشتر امولسیفایر و تغلیظ کننده که در واقع افزایش مجموع غلظت زیست‌پلیمرهای کاربردی است، منجر به تشکیل شبکه‌ای فشرده‌تر از زیست‌پلیمرها، هم در مرحله‌ی تشکیل امولسیون و هم در حین تولید اولئوژل شده که در برابر تنش‌ها پایدار است و می‌تواند روغن مایع را در ساختار خود به خوبی به دام اندازد. به منظور بررسی‌های بیشتر در این زمینه توصیه می‌شود تا از سایر زیست‌پلیمرها و روش‌های خشک کردن امولسیون به منظور تولید اولئوژل استفاده و اثر غلظت زیست‌پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اولئوژل مطالعه شود.

۵- منابع

- [1] Abdollahi, M., Goli, S. A. H. and Soltanizadeh, N. 2019. Physicochemical Properties of Foam-Templated Oleogel Based on Gelatin and Xanthan Gum. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 1900196.

- [17] Patel, A. R., Rajarethinem, P. S., Cludts, N., Lewille, B., De Vos, W. H., Lesaffer, A. and Dewettinck, K. 2014. Biopolymer-based structuring of liquid oil into soft solids and oleogels using water-continuous emulsions as templates. *Langmuir*. 31: 2065-2073.
- [18] Pehlivanoglu, H., Demirci, M., Toker, O. S., Konar, N., Karasu, S. and Sagdic, O. 2018. Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: Production and food-based applications. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*. 58: 1330-1341.
- [19] Shchipunov, Y. A. 2001. Lecithin organogel: a micellar system with unique properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*. 183: 541-554.
- [20] Tavernier, I., Patel, A. R., Van der Meeren, P. and Dewettinck, K. 2017. Emulsion-templated liquid oil structuring with soy protein and soy protein: κ -carrageenan complexes. *Food Hydrocolloid*. 65: 107-120.
- Structured by Different Cellulose Ethers. *European Journal Of Lipid Science And Technology*. 120: 1700287.
- [12] Mollakhalili Meybodi, N., Mohammadifar, M. A. and Naseri, A. 2014. Effective factors on the stability of oil-in-water emulsion based beverage: a review. *Journal Of Food Quality And Hazards Control*. 1: 67-71.
- [13] Patel, A. R. 2015. Polymer-Based Oleogels Created Using Indirect Methods. In: *Alternative Routes to Oil Structuring*. Springer. pp. 29-39.
- [14] Patel, A. R., Cludts, N., Bin Sintang, M. D., Lewille, B., Lesaffer, A. and Dewettinck, K. 2014. Polysaccharide-based oleogels prepared with an emulsion-templated approach. *Chemical Physics and Physical Chemistry*. 15: 3435-3439.
- [15] Patel, A. R. and Dewettinck, K. 2016. Edible oil structuring: an overview and recent updates. *Food & Function*. 7: 20-29.
- [16] Patel, A. R., Dumlu, P., Vermeir, L., Lewille, B., Lesaffer, A. and Dewettinck, K. 2015. Rheological characterization of gel-in-oil-in-gel type structured emulsions. *Food Hydrocolloid*. 46: 84-92.

Effect of sodium caseinate and xanthan gum biopolymers concentration on Oleogel production capability based on oil-in-water emulsion system

Moradabbasi, M.¹, Goli, S. A.^{2*}, Fayaz, G.³

1. Master student of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Associated professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Graduated PhD student, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

(Received: 2020/03/09 Accepted: 2020/08/22)

Food industry researchers are looking for suitable alternatives for solid fat to reduce the adverse effects of saturated, hydrogenated and trans fats, including a new method called "oleogel". One of the oleogel production approaches is emulsion preparation. Therefore, the purpose of this study was to prepare an oleogel by emulsion production using sodium caseinate (emulsifier) and xanthan gum (thickening agent) biopolymers. To investigate the possibility of producing oleogel in this way, first emulsions with different concentration of sodium caseinate (2% and 4%) and xanthan gum (0.2% and 0.4%) with vegetable oil (60% wt / wt) were prepared then the particle size, zeta potential, microscopic images and rheological properties (viscosity, loss and storage modulus) of the samples were studied. Based on the results, increasing sodium caseinate concentration significantly reduced droplet size but the effect of xanthan gum concentration on the mentioned parameter was insignificant, therefore the droplet size in the CX44 sample reduce to 13.75 microns ($P>0.05$). The results of rheological tests showed that the storage modulus was higher than the loss modulus, indicating strong gel formation for the oleogel production with a desirable texture. Oleogel was then prepared using freeze drier. The results of the hardness of the dried samples and oil loss in the respective oleogels showed a significant effect of the two biopolymers concentration in which with increased biopolymers concentration hardness of dried products improved and the oil loss decreased where the hardness and the oil loss of the sample containing the highest concentration of two biopolymers (CX44) reached to 18.22 N and 0.162%, respectively. Therefore, the emulsion preparation method is a suitable approach for oleogel production with desirable properties for the replacement of high saturated and trans fat products which can guarantee public health.

Keywords: Oleogel, Emulsifier, Thickening agent, Freeze drier, Rheology.

* Corresponding Author E-Mail Address: amirgoli@cc.iut.ac.ir