

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

مریم مرادعباسی¹، سید امیرحسین گلی^{2*}، گلی فیاض³

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

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

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

(تاریخ دریافت: 98/12/19 تاریخ پذیرش: 99/06/01)

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 روش های 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 امولسیون هایی با نسبت های متفاوت از دو زیست پلیمر سدیم کازئینات (2% و 4%) و صمغ زانتان (0/2% و 0/4%) به همراه روغن گیاهی (60% وزنی/ وزنی) تهیه و سپس اندازه ذرات، پتانسیل زتا، تصاویر میکروسکوپی و خواص رئولوژیک (ویسکوزیته، مدول اتلافی و ذخیره) امولسیون ها 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 طوری که اندازه قطرات در نمونهی CX44 به 13/75 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 نشست روغن در اولئوژل‌های مربوطه اثر غلظت دو زیست پلیمر را معنادار نشان داد و با افزایش غلظت، سفتی بافت افزایش و نشست روغن کاهش یافت؛ به طوری که در نمونه حاوی بیشترین غلظت از دو زیست پلیمر (CX44)، سفتی بافت به 18/22 نیوتون و نشست روغن به 0/162% 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

1- مقدمه

محللول در آب به دام می افتد که طی دو مرحله ی ساده صورت می گیرد: 1) فرموله کردن امولسیون روغن در آب که با یک زیست پلیمر نظیر پروتئین یا پلی ساکارید پایدار می شود و در ادامه 2) 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 97 درصد وزنی) [17]. 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 [13].

بررسی خصوصیات امولسیون تولیدی بر پایه ی زیست پلیمر، از جمله مراحل مهم در تولید اولئوزل به این روش می باشد به طوریکه نتایج حاصل از ویژگی های امولسیون می تواند به پیش بینی قابلیت تولید یا عدم تولید اولئوزل بپردازد. از این رو پاتل و همکاران (2014) به منظور تولید اولئوزل از HPMC¹ و MC² (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 اولئوزلی پایدار موثر باشد [14]. از طرفی در مطالعه ی جیانگ و همکاران (2018)، بررسی اثر غلظت سلولز بازسازی شده³ 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 اولئوزلی با

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 اولئوزل اشاره کرد. اولئوزل، 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، ویسکوالاستیسیته، قابلیت پخش پذیری، سفتی و سایر خصوصیات مطلوب مشابهی با چربی جامد ایجاد می کند. روش رایج تهیه اولئوزل حل کردن مستقیم اولئوزلاتور (ترکیبات تشکیل دهنده ی ژل) در روغن است، به عبارت دیگر اولئوزلاتورهای کاربردی باید قابلیت حل شدن در روغن را داشته باشند [4]. در این روش اولئوزلاتور با روغن مخلوط شده، سپس مخلوط حاصله تا دمای ذوب اولئوزلاتور مورد استفاده حرارت دیده تا کاملاً در روغن ذوب و پخش شود و مخلوط شفافی به دست آید. بعد از حل شدن کامل اولئوزلاتور، مخلوط تا دمای اتاق خنک شده و اولئوزل شکل می گیرد. [15 و 18]. با این حال تهیه اولئوزل به روش مستقیم، نیازمند درجه حرارت بالا است (با توجه به اولئوزلاتور 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 [14]. از این رو روش های دیگر تولید اولئوزل با استفاده از زیست پلیمرها معرفی شده اند که می توان به روش تهیه امولسیون اشاره کرد. اساس تولید اولئوزل در این روش بر پایه ی تهیه امولسیون روغن در آب است، به این صورت که روغن مایع هیدروفوب در ماتریکسی از زیست پلیمرهای

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

مختلف از زیست پلیمرهای ذکر شده مطابق جدول 1 تهیه شد. محلول‌های سدیم کازئینات 2 و 4 درصد وزنی-وزنی به روش پاتل و همکاران (2014) تهیه شد [14]. مطابق با جدول 1 به ترتیب مقادیر 2 و 4 گرم از پودر سدیم کازئینات توزین و مقداری آب دیونیزه به آن‌ها اضافه شد. سپس به مدت 30 دقیقه در دمای اتاق (25 درجه‌ی سلسیوس) با کمک همزن مغناطیسی (آیکا¹ مدل T25 digital، آلمان) پودر پروتئینی کاملاً حل شد تا محلول یک دست سفید رنگی به دست آید. سپس 60 گرم روغن کانولا به صورت قطره قطره² تحت همزدن مداوم در 13000 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 1 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 [10].

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 |

2-2-1- ریز ساختار

ریز ساختار امولسیون با استفاده از میکروسکوپ نوری (نیکون اکلیس³ 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 40× مشاهده و توسط دوربین دیجیتال ضبط شد [6].

1. IKA
2. Dropwise
3. Nikon Eclipse

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 97 درصد توانایی نگهداری روغن را داشت [6]. منگ و همکاران (2018) در بررسی اثر تغلیظ کننده‌های 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 آلژینات، کربوکسی متیل سلولوز 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 [9].

با توجه به روش آسان و غیر حرارتی تولید امولسیون، در این تحقیق تلاش می‌شود تا از زیست پلیمرهایی 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.

2- مواد و روش‌ها

2-1- 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.

2-2- تهیه امولسیون و تعیین خصوصیات آن

در این بخش به منظور ارزیابی اثر غلظت سدیم کازئینات و صمغ زانتان بر خصوصیات امولسیون 6 نوع تیمار با درصد‌های

2-2-2- سایز قطرات

فرکانس زاویه‌ای 1 رادیان بر ثانیه انجام شد. تست رفت و برگشتی فرکانس نیز در کرنش ثابت 0/5 درصد در محدوده فرکانس 0/1-100 هرتز انجام شد. برای بررسی بیشتر رفتار رئولوژیکی در همان محدوده آزمایش رفت و برگشتی فرکانس، مقدار ویسکوزیته کمپلکس⁷ نیز گزارش شد. تمامی موارد ذکر شده در دمای 5 درجه سلسیوس صورت گرفت [10].

2-2-3- 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 نمونه‌ی امولسیون مطابق بخش 2-2 با غلظت‌های متفاوتی از دو زیست پلیمر سدیم کازئینات و زانتان تهیه شد و بلافاصله پس از آماده سازی به مدت 24 ساعت در دمای 18- درجه سلسیوس منجمد شدند و به دنبال آن در حدود 48 ساعت در خشک کن انجمادی (دنا و کیوم مدل FD-5003-BT، ایران) قرار گرفتند؛ در انتهای این مرحله نمونه‌های خشک بدست آمد؛ سپس به منظور تولید اولئوژل، نمونه‌های خشک با استفاده از میکسر خانگی (مولینکس⁸، فرانسه) به مدت شش ثانیه هموزن شدند تا اولئوژل‌هایی با بافت یکنواخت به دست آید [2و 20].

2-2-3-1- سفتی بافت محصول خشک شده

نمونه‌های خشک شده، نمونه های واسط مهمی برای تهیه اولئوژل مطلوب هستند، به همین دلیل بررسی خصوصیات بافتی آن‌ها (ازجمله سفتی بافت) پارامتر مهمی محسوب می‌شود. بررسی سفتی محصول خشک شده با آزمایش نفوذ مطابق با روش پاتل و همکاران (2014) با تغییر مختصری با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (سنتام⁹ مدل SDM1، ایران) انجام شد. به منظور انجام این آزمایش از پروب استوانه ای به قطر 10 میلی متر و سل 20 کیلوگرم با سرعت نفوذ 100 میلی متر در دقیقه، استفاده شد و حداکثر نیرو به عنوان نیروی نفوذ در عمق 15 میلی متر گزارش شد [17].

2-2-3-2- نشت روغن اولئوژل‌ها

برای اندازه گیری این پارامتر از ساتترفیوژ (سیگما¹⁰ مدل 6K15، آلمان) استفاده شد. ابتدا میکروتیوب‌های 2 میلی

سایز قطرات روغن در امولسیون‌ها با استفاده از نرم افزار ImageJ اندازه گیری شد. این نرم افزار یک برنامه تجزیه و تحلیل تصویر با سیستم عامل جاوا¹ می‌باشد که توسط موسسه ملی بهداشت ایالات متحده تهیه شده است. از این نرم افزار برای تشخیص، شمارش و همچنین اندازه گیری سایز قطرات کروی در تصاویر میکروسکوپی استفاده می‌شود. برای آنالیز سایز قطرات تصاویر میکروسکوپی، با استفاده از نوار ابزار تعیین مقیاس² طول استاندارد برای نرم افزار تعریف شد. سپس تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های امولسیونی به فرمت 8 بایتی تبدیل شد و برای شناسایی قطرات توسط نرم افزار تصاویر به صورت سیاه و سفید درآمدند. بعد از مراحل ذکر شده با استفاده از گزینه‌ی "تحلیل ذرات"³ سایز قطرات مشخص شد [5].

2-2-3- پتانسیل زتا

برای اندازه گیری پتانسیل زتا امولسیون‌ها از دستگاه زتا سائزر (هوریبا، مدل SZ100، ژاپن) استفاده شد. ابتدا مقداری از نمونه‌ها در لوله‌های آزمایش با آب دیونیزه رقیق شد به طوریکه محلول هر نمونه رنگ نسبتاً شفاف پیدا کرد؛ سپس قبل از قرائت دستگاه، لوله‌ها به خوبی تکان داده شد تا مخلوط یکنواختی بدست آمد. پتانسیل زتا نمونه‌های امولسیونی پس از آماده سازی نمونه‌ها در دمای 25 درجه سلسیوس اندازه گیری و میانگین سه قرائت گزارش شد [17].

2-2-4- رئولوژی

برای اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی از دستگاه رئومتر (آنتون پار⁴ مدل Physica MCR 301، اتریش) مجهز به سیستم کنترل دما استفاده شد. اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی مدول الاستیک یا ذخیره (G') و مدول ویسکوز یا اتلافی (G'') با پروب صفحه‌ای موازی به قطر 50 میلی‌متر انجام شد. حدود 5 گرم امولسیون درون ظرف دستگاه ریخته شده و فاصله پروب با نمونه 1 میلی‌متر تنظیم شد. برای اندازه‌گیری ناحیه ویسکوالاستیک خطی آزمایش تنش برشی⁵ در طیف وسیعی از دامنه کرنش⁶ 0/05 - 100 درصد تحت

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

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

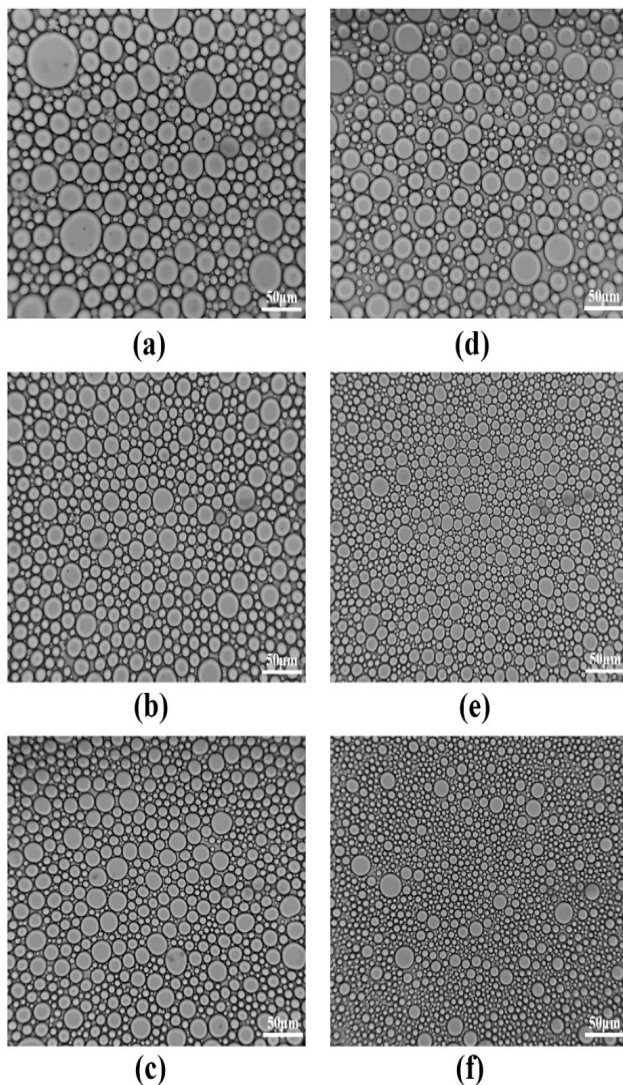


Fig 1 Optical microscopic images of emulsions prepared by different concentrations of sodium caseinate and xanthan gum: **a)** C2: sodium caseinate 2 wt% **b)** CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt% **c)** CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt% **d)** C4: sodium caseinate 4 wt% **e)** CX42: sodium 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 13-24 میکرون گزارش شد که بیشترین و کمترین اندازه‌ی قطرات روغن به ترتیب در نمونه‌های C2 (2% سدیم کازینات) و CX44 (4% سدیم کازینات و 0.4% صمغ زانتان) مشاهده شد. اثر سدیم کازینات به تنهایی بر سایز قطرات روغن معنا دار گزارش شد ($p < 0/05$)؛ با این حال

لیتری خالی را وزن کرده و حدود 1 تا 1/5 گرم نمونه اولئوژل در آنها توزین شد و در 10000 دور در دقیقه در دمای اتاق (25 درجه‌ی سلسیوس) به مدت 15 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.

(1)

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

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 [10].

2-4- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمامی آزمایش‌ها حداقل با دو تکرار¹ به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و داده‌ها به صورت میانگین \pm انحراف معیار² گزارش شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با آنالیز واریانس³ (ANOVA) و آزمون مقایسه میانگین نیز به روش حداقل تفاوت معنادار⁴ (LSD) در سطح اطمینان 95 درصد با استفاده از نرم افزار تحلیل آماری⁵ انجام گرفت.

3- نتایج و بحث

3-1- ریزساختار و سایز قطرات

تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های امولسیون در شکل 1 نشان داده شده است. آنچه که در این تصاویر قابل مشاهده است، این است که به دلیل غلظت زیاد روغن در امولسیون (60 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 2 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 2 به 4 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 [6]. همچنین، سدیم کازئینات می تواند بین قطرات روغن نیروی دافع الکترواستاتیک و استریک ایجاد کرده، که مانع نزدیک شدن قطرات به یکدیگر می شود [8]. 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 بزرگتر یا به عبارتی پدیده‌ی الحاق دیرتر رخ می دهد [12]. 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 ویسکوزیته‌ی فاز آبی افزایش می یابد که باعث محدودیت حرکت قطرات روغن و عدم الحاق می شود [1 و 17].

در مطالعه‌ی پاتل و همکاران (2015)، افزایش غلظت ژلاتین از 0/6 به 1/6 درصد وزنی-وزنی منجر به کاهش اندازه قطرات روغن شد (17). طبق پژوهش منگ و همکاران (2018) 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 [10].

3-2- پتانسیل زتا

در سیستم های کلونیدی 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 30- میلی ولت و بیشتر از 30+ میلی ولت باشد، امولسیون نسبت به جدایی فاز پایدار است [12]. با توجه به جدول 2، پتانسیل زتا نمونه های امولسیونی بین 58/73- و 86/30- بود که بسیار کمتر از 30- میلی ولت است. به دلیل تاثیر گروه های آمینی و کربوکسیلی موجود در ساختار سدیم کازئینات، نقطه ایزوالکتریک این پروتئین در محدوده‌ی 4/5-5 است و از آنجایی که pH امولسیون حدود 6/2 بود (بالتر از نقطه‌ی ایزوالکتریک سدیم کازئینات است)، سطح پروتئین دارای بار منفی می باشد [8]. با این حال همه‌ی مقادیر منفی پتانسیل زتا به تنهایی وابسته به سدیم کازئینات نیست به طوریکه پاتل و همکاران (2014) 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 [17]. 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 2 به 4 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 (2015) برای تهیه امولسیون از پلی ساکارید محلول دانه‌ی 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 [3].

Table 2 Droplet size and zeta potential of emulsion samples.

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

مقادیر مدول ذخیره و اتلاقی است و درصد کرنش در این نقطه به عنوان کرنش تسلیم³ بیان می‌شود و از نقطه‌ی تلاقی به بعد مقادیر مدول اتلاقی 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 2 (الف)، از محدوده‌ی کرنش 20 تا 100 درصد، تمامی نمودارهای مدول ذخیره روند نزولی داشته و کرنش تسلیم در نقطه‌ی برابری مدول ذخیره و اتلاقی، 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 زیست پلیمرها) دیده نشد، که نشان دهنده‌ی افزایش قدرت مکانیکی ژل با افزایش غلظت است. پدیده‌ی مشابه توسط لو و همکاران (2019) 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 اتلاقی در کرنش تسلیم بالاتری رخ داد [7]. پاتل و همکاران (2015) 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 [16].

3-3- 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 اتلاقی (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 2 الف و ب). افزایش در غلظت سدیم کازئینات، غلظت صمغ زانتان و مجموع غلظت کل زیست پلیمرها، موجب افزایش مدول ذخیره شد؛ به طوریکه مدول ذخیره برای نمونه با کمترین مجموع غلظت زیست پلیمر (C2) $1/54 \times 10^2$ پاسکال و برای امولسیون با بیشترین مجموع غلظت زیست پلیمر (CX44) $3/60 \times 10^3$ پاسکال در کرنش 0/05 درصد، بود که نشان دهنده‌ی اثر قوی غلظت زیست پلیمر بر پایداری امولسیون‌ها در برابر تغییر شکل¹ است؛ همچنین افزایش غلظت زیست پلیمرها باعث می‌شود تا قدرت ژل افزایش یابد [16]. 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 اتلاقی برخورد می‌کند؛ محل تلاقی دو نمودار² نشان دهنده‌ی برابر شدن

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 [10]. پاتل و همکاران (2015) مشاهده کردند که در امولسیون های 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 [17].

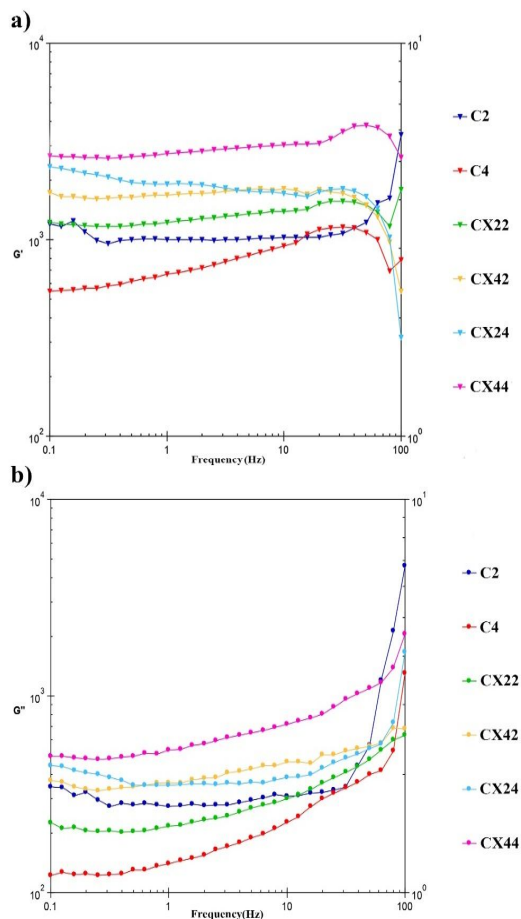


Fig 3. Frequency sweep (a, b) curves of emulsions prepared by different concentrations of sodium caseinate and xanthan gum. C2: sodium caseinate 2 wt%, CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt%, CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt%, C4: sodium caseinate 4 wt%, CX42: sodium caseinate 4-xanthan 0.2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

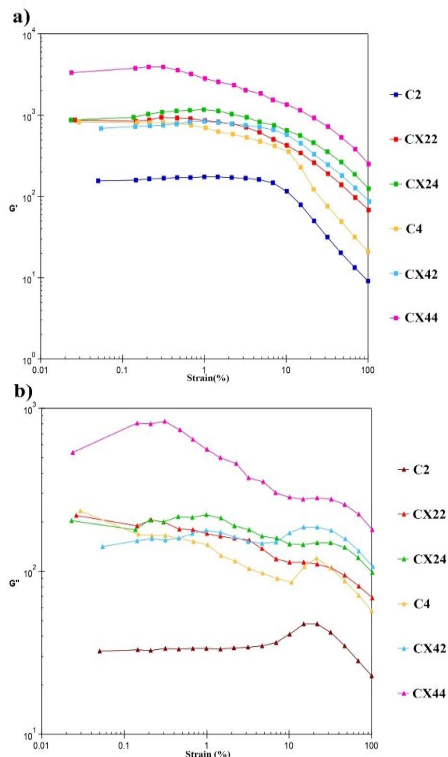


Fig 2 Amplitude sweep (a, b) curves of emulsions prepared by different concentrations of sodium caseinate and xanthan gum. C2: sodium caseinate 2 wt%, CX22: sodium caseinate 2-xanthan 0.2 wt%, CX24: sodium caseinate 2-xanthan 0.4 wt%, C4: sodium caseinate 4 wt%, CX42: sodium caseinate 4-xanthan 0.2 wt%,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

به منظور بررسی بیشتر قدرت ژل در امولسیون، آزمون فرکانس رفت و برگشتی در دامنه فرکانس 0/1 - 100 هرتز انجام شد؛ تمامی شش نمونه‌ی امولسیونی مقاومت مکانیکی خوبی نسبت به فرکانس نشان دادند (شکل 3 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 4% سدیم کازینات و 0/4% صمغ زانتان (CX44) بیشترین مقدار مدول ذخیره را در فرکانس 100 هرتز به خود اختصاص داد ($2/62 \times 10^3$ پاسکال). اثر افزایش غلظت سدیم کازینات یا صمغ زانتان و حتی مجموع غلظت زیست پلیمرهای کاربردی در آزمون فرکانس، با نتایج حاصل از آزمون نوسان رفت و برگشتی

غلظت زیست‌پلیمر 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 3 مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت سدیم کازئینات، سفتی بافت افزایش یافته به طوری که در غلظت 2% سفتی بافت 0/77 نیوتون و در غلظت 4% سدیم کازئینات، 6/26 نیوتون بدست آمد؛ در واقع با افزایش غلظت زیست‌پلیمرها، 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 زیست‌پلیمر، بافت سفت‌تری داشته باشند به طوری که 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 زیست‌پلیمر بر مقدار سفتی محصول خشک شده توسط لو و همکاران (2019) 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 1/5 به 4/5 درصد وزنی-حجمی حدود دو برابر افزایش یافت [7]. در پژوهش مشابه برای تولید اولئوژل به روش تشکیل امولسیون، منگ و همکاران (2018) نشان دادند، با افزایش غلظت HPMC از 0/2 به 1 درصد وزنی، سفتی محصول خشک (حاصل از خشک کن انجمادی) 2/5 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 [10].

3-5- 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

در بررسی ویسکوزیته‌ی کمپلکس (η^*): نسبت مدول کمپلکس¹ به بسامد زاویه‌ای) طی آزمون فرکانس (شکل 4)، با افزایش غلظت هر دو زیست‌پلیمر و مجموع غلظت کل آن‌ها، این پارامتر نیز افزایش یافت، که می‌توان آن را به تأثیر غلظت زیست‌پلیمرها روی مقاومت مکانیکی امولسیون (با توجه به اینکه افزایش G' ، با افزایش غلظت هر یک از زیست‌پلیمرها 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 ($\sqrt{G'^2 + G''^2}$) می‌شود [19] که با افزایش فرکانس، تنها بسامد زاویه‌ای افزایش یافته و با توجه به نسبت عکس ویسکوزیته کمپلکس و بسامد زاویه‌ای، این پارامتر کاهش می‌یابد [14].

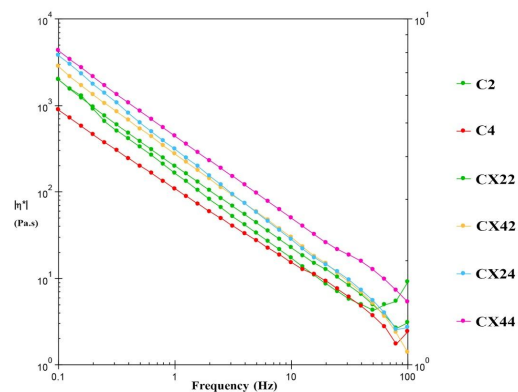


Fig 4 Complex viscosity curves of emulsions under applying frequency.

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%.

3-4- سفتی بافت محصول خشک شده

به منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف زیست‌پلیمرها 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. با توجه به بررسی خواص رئولوژیکی امولسیون، اثر افزایش

شبکه‌ی 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 قوی‌تری از زیست پلیمرها اطراف قطرات روغن حین تهیه امولسیون می‌شود که پس از خروج آب از سیستم، سبب ثبات بهتر اولئوژل در برابر نیروهای خارجی و سخت‌تر خارج شدن روغن از شبکه‌ی سه بعدی اولئوژل و پدیدار شدن رفتار شبه جامد می‌شود. منگ و همکاران (2018) در مطالعه‌ای بر تشکیل اولئوژل بر پایه‌ی سیستم امولسیون، بیان کردند که افزایش غلظت HPMC، باعث افزایش میزان نگهداری روغن در ساختار اولئوژل شد به طوریکه بیشترین نشست روغن در اولئوژل با حداقل غلظت HPMC (0/2 درصد وزنی)، حدود 18 درصد گزارش شد درحالی‌که نشست روغن در اولئوژل با 1 درصد وزنی HPMC حدود 8 درصد بود [10]. در مطالعه‌ی دیگری از منگ و همکاران (2018)، اثر ویسکوزیته‌های مختلف HPMC و MC بر میزان نشست روغن مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها نتیجه گرفتند که اولئوژل‌های حاصل از ویسکوزیته‌های بیشتر HPMC و MC، توانایی بیشتری در نگهداری روغن داشتند چرا که با افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته، حرکت قطرات روغن محدود شده و پدیده‌ی الحاق در امولسیون و سپس اولئوژل تولیدی رخ نداد [11].

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 نشست روغن در اولئوژل کاهش یافت. با توجه به نتایج رئولوژی امولسیون‌ها و مشاهده‌ی بهتر شدن رفتار شبه جامد با افزایش غلظت زیست پلیمرها، انتظار می‌رفت تا کمترین نشست روغن نیز در نمونه‌ی حاوی بیشترین غلظت از زیست پلیمرها مشاهده شود. همانطور که در جدول 3 مشاهده می‌شود، کمترین میزان نشست روغن به اولئوژل با بیشترین مجموع غلظت زیست پلیمرها اختصاص دارد به طوریکه در نمونه CX44 نشست روغن 0/162 درصد بود. در واقع افزایش غلظت زیست پلیمرها نه تنها باعث افزایش ویسکوزیته‌ی فاز پیوسته شده بلکه از الحاق قطرات حین تشکیل امولسیون و فرآیند خشک کردن جلوگیری کرده که باعث کاهش نشست روغن می‌شود: از طرفی ترکیب دو ماده‌ی فعال سطحی (امولسیفایر) و غیر فعال سطحی (تغلیظ کننده) به ویژه پروتئین و پلی‌ساکارید، در سطح مشترک روغن و آب حین تشکیل امولسیون، می‌تواند از طریق پیوندهای کووالانسی و یا الکترواستاتیک رخ دهد که سبب شکل گیری سیستم پایدارتری نسبت به تهیه امولسیون تنها با استفاده از امولسیفایر، می‌شود. از طرفی علاوه بر اثر ترکیب زیست پلیمرها بر پایداری امولسیون و متعاقباً ثبات اولئوژل‌های تولیدی، انتخاب غلظت موثر از زیست پلیمرها در رسیدن به

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%.

ویژگی‌های امولسیون می‌توان به قابلیت یا عدم قابلیت تولید اولئوژل بر پایه‌ی سیستم امولسیونی دست یافت. همچنین عدم حرارت دهی و استفاده از زیست پلیمرهای متنوع در تهیه امولسیون و به دنبال آن تولید اولئوژل از بخش‌های قابل توجه سیستم امولسیونی است. بر اساس نتایج حاصل، افزایش غلظت سدیم کازینات باعث کاهش معنا دار اندازه قطرات روغن شد

4- نتیجه گیری

در این تحقیق از زیست پلیمرهای آبدوست سدیم کازینات و صمغ زانتان برای تولید امولسیون‌های 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

- [2] Abdolmaleki, K., Alizadeh, L., Nayebezhadeh, 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 24/11 و 14/82 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 86/3- تا 58/73- 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 اولئوزل با بافت مطلوب می‌باشد. در ادامه پس از تهیه محصول خشک و اولئوزل با استفاده از خشک کن انجمادی و مطالعه‌ی خصوصیات آنها، نتایج حاصل از بررسی سفتی بافت نمونه‌های خشک شده و نشست روغن در اولئوزل‌های مربوطه اثر غلظت دو زیست پلیمر را معنادار نشان داد، به طوریکه با افزایش غلظت سفتی بافت افزایش و نشست روغن کاهش یافت. به طور کلی می‌توان گفت الف) غلظت‌های بیشتر از سدیم کازئینات منجر به تشکیل لایه‌ای ضخیم‌تر در اطراف قطرات روغن و عدم الحاق حین تشکیل امولسیون و در ادامه طی فرآیند تولید اولئوزل 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 اولئوزل می‌شود و ج) استفاده از مقادیر بیشتر امولسیفایر و تغلیظ کننده که در واقع افزایش مجموع غلظت زیست پلیمرهای کاربردی است، منجر به تشکیل شبکه‌ای فشرده‌تر از زیست پلیمرها، هم در مرحله‌ی تشکیل امولسیون و هم در حین تولید اولئوزل 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 زیست پلیمرها و روش‌های خشک کردن امولسیون به منظور تولید اولئوزل استفاده و اثر غلظت زیست پلیمرها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اولئوزل مطالعه شود.

5- 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