

بررسی خصوصیات اولئوژل تولیدی به روش غیر حرارتی با استفاده از زیست پلیمرهای ژلاتین و زانتان و غنی سازی آن با ویتامین D

مریم عبداللهی^۱، سید امیر حسین گلی^{۲*}، نفیسه سلطانی زاده^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- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۲)

چکیده

در این مطالعه زیست پلیمرهای ژلاتین و زانتان در یک فرایند غیر حرارتی برای تولید اولئوژل و غنی سازی آن با ویتامین D استفاده شدند. نتایج بدست آمده از بررسی طیف سنجی نشان داد که پیوند هیدروژنی ناشی از زیست پلیمرها در تشکیل شبکه اولئوژل موثر است. بعلاوه، اولئوژل رفتار تیکسوتروپیک، احیای ساختاری مناسب و حفظ قدرت ژل در دماهای پایین تر از ۱۰۰ درجه سلسیوس نشان داد. همچنین، اولئوژل غنی شده با ویتامین D تهیه و پایداری ویتامین طی ۴۵ روز انبار مانی در دماهای ۲۵ و ۴۰ درجه سلسیوس و رهایش آن با کمک کروماتوگرافی مایع کارآیی بالا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حضور شبکه زیست پلیمر در کوتاه مدت تاثیر معناداری بر پایداری ویتامین نداشت، در حالی که توانست بر رهایش کنترل شده ویتامین در مقایسه با روغن موثر باشد. بنابر نتایج بدست آمده، اولئوژل ژلاتین و زانتان تهیه شده به روش غیر حرارتی کف آبی می تواند به عنوان جایگزینی برای چربی جامد و حامل ترکیبات زیست فعال در محصولات غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: ژلاتین، زانتان، اولئوژل، رئولوژی، رهایش

*مسئول مکاتبات: amirgoli@cc.iut.ac.ir

۱- مقدمه

در چند سال اخیر، به دنبال اثرات سوء استفاده از چربی‌های اشباع و ترانس بر سلامتی انسان، روش جدیدی با عنوان تولید اولئوژل به منظور ایجاد ساختار در روغن‌های مایع مورد توجه قرار گرفته است. اولئوژل، یک شبکه ژل مانند از روغن‌های مایع با استفاده از مولکول‌های ژل کننده یا بلوک‌های ساختاری با نام اولئوژلاتور است که می‌تواند خصوصیات رئولوژیک، ویسکوالاستیسیته، قابلیت پخش، سفتی و سایر ویژگی‌های مطلوب را در محصولات غذایی بدون حضور مقدار زیادی چربی اشباع ایجاد نماید [۳ و ۱۷].

در مرسوم‌ترین روش تولید اولئوژل، شرط لازم، حلالیت مولکول‌های اولئوژلاتور در روغن می‌باشد. در ابتدا، این ترکیبات در روغن کاملاً پخش شده و همزمان با مخلوط کردن، حرارت داده می‌شوند تا محلول شفاف حاصل شود. در نهایت، محلول حاصل تا رسیدن به دمای اتاق سرد شده و ساختار جامد بدون تغییر ماهیت شیمیایی روغن شکل می‌گیرد [۱۸]. با این حال، وجود طعم مومی، نیاز به غلظت بالا، ایمن نبودن بعضی اولئوژلاتورها برای مصارف انسانی، استفاده از مواد افزودنی، درجه حرارت‌های بالا و به دنبال آن افزایش احتمال اکسیداسیون و کاهش یا حذف مواد مغذی در روغن برای شکل دهی ساختمان اولئوژل سبب شد تا محققان به دنبال یافتن ترکیبات جدید زیستی برای تولید شبکه باشند [۲۸].

زیست پلیمرها درشت مولکول‌هایی شامل پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها هستند که شمار زیادی از آن‌ها با درجه غذایی در دسترس وجود دارد ولی بخاطر حضور گروه‌های هیدروکسیل زیاد در ساختار خود، آب دوست می‌باشند و به همین دلیل برای رسیدن به شبکه مورد نیاز به راحتی در روغن پراکنده نمی‌شوند. از این رو، روش‌های غیر مستقیمی چون تولید کف آبی برای تولید اولئوژل‌هایی برپایه زیست پلیمر مورد بررسی قرار گرفت [۲۳]. کف‌های آبی دیسپرسیون دوتایی حباب‌های هوا در داخل فاز پیوسته آبی می‌باشند که برای ساخت و پایداری آن‌ها، استفاده از عوامل پایدار کننده مانند پروتئین و پلی ساکارید و پراکنده کردن آن‌ها در فاز آبی

نیاز است [۲۴]. به دنبال حذف آب از ساختار کف در طی خشک کردن انجمادی، شبکه متخلخل کرایوژل تشکیل می‌شود [۵ و ۲۹]. بر این اساس، پاتل و همکاران (۲۰۱۳) بدون استفاده از حرارت و با به کارگیری کرایوژل متخلخل هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به منظور جذب روغن به روش کف آبی اولئوژل تهیه کردند [۲۸]. اولئوژل هیدروکسی پروپیل متیل سلولز نشان داد که به حرارت نسبتاً پایدار است و می‌تواند در دماهای بالا قوام ژل مانند خود را حفظ کند [۲۶]. همچنین، این نوع اولئوژل به منظور جایگزینی چربی جامد در تولید نوعی کیک نیز به کار برده شد. لی (۲۰۱۸) گزارش کرد که سفتی بافت نمونه‌های حاوی اولئوژل هیدروکسی پروپیل متیل سلولز جایگزین شده با شورتینگ تا سطح ۵۰ درصد در مقایسه با نمونه کنترل شورتینگ تفاوت معناداری نداشت [۱۴].

اولئوژل علاوه بر کاهش اسیدهای چرب اشباع و ترانس در ساختار ماده غذایی می‌تواند با به دام انداختن مولکول‌های محلول در چربی در ساختار خود حلالیت، پایداری، کنترل آزادسازی و دسترسی زیستی به مواد مغذی را افزایش دهد [۱۱ و ۲۱]. در تحقیقی ارگانوژل روغن سویا به عنوان سیستم کنترل رهایش، سبب پایداری ایبوپروفن^۱ آب گریز در معده شده و سرعت آزادسازی آن در روده با افزایش غلظت ارگانوژلاتور کم شد [۱۲]. زاهی و همکاران (۲۰۱۵) با به دام انداختن دی لیمونن^۲ در ساختار ارگانوژل دریافتند که می‌تواند پایداری ترکیب و خاصیت ضد میکروبی آن را افزایش دهند [۳۳].

ویتامین D یکی از ویتامین‌های لازم و ضروری برای توسعه استخوان و دندان در بدن انسان است. با این حال، تعدادی از افراد دچار کمبود این ویتامین هستند و عوامل مختلفی شامل زندگی در خانه و عدم قرار گرفتن در معرض نور خورشید، رژیم غذایی فقیر، افزایش سن، چاقی و جذب ناکامل مواد غذایی در روده کوچک سبب کمبود این ویتامین در بدن انسان می‌شوند [۱۳]. بر همین اساس، سازمان غذا و داروی آمریکا غنی کردن شیر و غلات با ویتامین D را پیشنهاد کرده است. این ویتامین هنگامی که در معرض نور، هوا یا گرما قرار

1. Ibuprofen
2. D-limonene

۲-۲- تهیه اولئوژل و تعیین خصوصیات

آن

تولید اولئوژل به روش پاتل و همکاران (۲۰۱۳) با کمی تغییرات انجام شد. به منظور آماده سازی محلول مخلوط ژلاتین ۳ درصد-صمغ زانتان ۰/۲ درصد، ابتدا مقدار مشخصی زانتان توزین و به آرامی به بشر حاوی آب مقطر اضافه شد و سپس با کمک همزن مغناطیسی (آیکا^۲ مدل RH Basic 2، آلمان) در دمای اتاق (۲۰ درجه سلسیوس) کاملاً حل و هیدراته شد. به دنبال آن، مقدار معینی از ژلاتین به محلول درون بشر افزوده، در دمای ۴۰ درجه سلسیوس حل و به حجم رسانیده شد. در ادامه، حجم مشخصی از محلول آماده شده در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه با استفاده از همزنایزر (اولتراتوراکس^۴ مدل M-tops SR 30، کره) به مدت ۵ دقیقه هوادهی و بلافاصله به فریزر ۲۰- درجه سلسیوس منتقل شد تا برای ۶ ساعت در آن جا نگهداری و کاملاً منجمد شود. پس از آن، نمونه منجمد توسط دستگاه خشک کن انجمادی (دنا و کیوم مدل FD-5003-BT، ایران) به مدت ۲۴ ساعت خشک و کرایوژل تولید شد. در مرحله آخر، ۲۰ گرم روغن به آرامی و با کمک پیست به حدود ۰/۲۵ گرم نمونه کرایوژل که بر روی یک الک قرار گرفته، اضافه شد و ۳۰ دقیقه صبر کرده تا روغن کاملاً جذب ساختار و مقادیر اضافی آن خارج شود. پس از گذشت این زمان، نمونه حاوی روغن در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه با اعمال نیروی برشی به وسیله همزنایزر (آیکا مدل T25digital، آلمان) به مدت ۰/۵-۲ دقیقه کاملاً مخلوط و اولئوژل تولید شد. اولئوژل تولیدی حاوی ۲/۵ درصد وزنی / وزنی زیست پلیمر بود [۲۶، ۲۸ و ۳۰].

۲-۲-۱- نحوه جذب روغن

به منظور بررسی نحوه جذب روغن در ساختار کرایوژل، تصاویر جذب روغن با استفاده از روغن غنی شده با بتاکاروتن به روش کلوشه و همکاران (۲۰۱۷) با کمی تغییرات تهیه شد. ۰/۵ گرم پودر بتاکاروتن به ۲۰ گرم روغن کانولا اضافه شد و حدود یک ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس طی هم زدن ملایم قرار گرفت

می‌گیرد، به راحتی تجزیه شده و اثرات عملکردی و سلامتی خود را از دست می‌دهد. همچنین این ویتامین حلالیت در آب و دسترسی زیستی ضعیفی نشان می‌دهد. به همین علت استفاده از فرآیند درون پوشانی کردن جهت افزایش پایداری، حفظ فعالیت زیستی و افزایش جذب این ویتامین مطلوب است [۲۲]. اگرچه مطالعاتی در این زمینه انجام شده اما استفاده از دمای بالا در طی مراحل تولید که موجب افت بخشی از ویتامین می‌شود، کاربرد حلال‌های سمی و یا قرار گرفتن ویتامین در سطح حامل، کاربرد این روش‌ها را در صنعت محدود کرده است [۱۵].

با توجه به روش جدید کف آبی برای تولید اولئوژل بدون استفاده از حرارت، در این تحقیق تلاش می‌شود تا از مواد پلیمری جدید با قابلیت تولید ساختار متخلخل بهره برداری گردد. نظر به منشأ طبیعی ژلاتین و زانتان و درجه غذایی آن‌ها، قابلیت تشکیل کف ژلاتین و خاصیت تغلیظ کنندگی زانتان برای اولین بار سعی بر آن است تا از ترکیب ژلاتین-زانتان برای تولید اولئوژل استفاده و مطالعات ریز ساختار، رفتار رئولوژیکی، پایداری اکسیداتیو و درصد به دام انداختن روغن روی ساختار کرایوژل و یا اولئوژل انجام گیرد. علاوه بر این، تا کنون غنی کردن روغن با مواد مغذی و رهایش کنترل شده آن در اولئوژل بررسی شده ولی استفاده از فرآیندهای حرارتی در تولید اولئوژل می‌تواند میزان ترکیب زیست فعال را کاهش دهد. از این رو، تلاش می‌شود برای اولین بار اولئوژل غنی شده با ویتامین D بدون استفاده از حرارت تولید گردد و پایداری آن نسبت به شرایط محیطی و رهایش آن در محیط روده بررسی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

ژلاتین نوع B با درجه بلوم ۱۸۰ و صمغ زانتان از شرکت بهین آزما (شیراز، ایران) تهیه شد. روغن تصفیه شده کانولا (لادن، بهشهر) از بازار محلی خریداری شد. بتاکاروتن از کارخانه مک (مک ماکارون، اصفهان) و پودر ویتامین D₃ (۴۰۰۰۰۰۰ واحد بین الملل) از شرکت دارویی اسوه (تهران، ایران) تهیه شد. سایر مواد شیمیایی از شرکت مرک و سیگما آلدریج با درجه آزمایشگاهی خریداری شد.

3. IKA
4. Ultra turrax

فرکانس و دما به ترتیب از ۱۰۰-۰/۱ رادیان بر ثانیه و ۱۲۰-۲۰ درجه سلسیوس با استرس ثابت در ناحیه ویسکوالاستیک خطی اندازه‌گیری شد. رفتار تیکسوتروپیک نمونه اولئوژل توسط ثبت منحنی ویسکوزیته به عنوان تابعی از زمان در دو نرخ برشی متغیر ۰/۱ و ۱۰ بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفت [۲۸].

۲-۳- غنی کردن روغن و اولئوژل با

ویتامین D و بررسی عملکرد ساختار

اولئوژل در حفظ آن

به منظور غنی کردن روغن با ویتامین D در غلظت ۱۰۰۰ ppm، ابتدا مقدار مشخصی از پودر ویتامین D در دمای اتاق به وزن معینی از روغن کنجد در حال همزدن توسط همزن مغناطیسی، آرام آرام اضافه شد. در ادامه دمای مخلوط به ۴۰ درجه سلسیوس افزایش داده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در این دما قرار گرفت تا پودر ویتامین کاملاً درون روغن حل شده و روغن غنی شده تهیه شود. برای غنی کردن اولئوژل با ویتامین D، محلول و کرایوژل مخلوط ژلاتین-زانتان مطابق با بند ۲-۲ آماده شد. سپس کرایوژل با غلظت ۲/۵ درصد وزنی- وزنی درون روغن غنی شده قرار گرفت تا روغن کاملاً جذب ساختار شد. به دنبال آن با اعمال نیروی برشی، اولئوژل ۲/۵ درصد وزنی-وزنی تهیه شد.

۲-۳-۱- پایداری انبارمانی ویتامین D

پایداری انبارمانی نمونه‌های روغن و اولئوژل غنی شده با ویتامین D هر ۹ روز یکبار طی ۴۵ روز نگهداری در دماهای ۲۵ و ۴۰ درجه سلسیوس مورد بررسی قرار گرفت.

میزان ویتامین D در روغن و اولئوژل به روش جیمنو و همکاران (۲۰۰۰) با کمی تغییرات اندازه‌گیری شد [۹]. ۰/۱ گرم نمونه روغن و اولئوژل درون اپندورف توزین، به نسبت ۱۰:۱ با ۱ میلی لیتر متانول رقیق و به مدت ۵ دقیقه با کمک ورتکس کاملاً مخلوط شدند تا ویتامین به خوبی در تماس با متانول قرار گرفته و استخراج شود. مخلوط در ۳۰۰۰g به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و دو فاز گردید. فاز رویی با کمک سمپلر جمع آوری و با کمک فیلتر سر سرنگی ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر شد. برای

تا محلول بتاکاروتن-روغن آماده و فیلتر شد [۲]. در ادامه حدود ۰/۲ گرم نمونه کرایوژل درون پتری دیش حاوی روغن غنی شده با بتاکاروتن قرار گرفت و هر یک دقیقه یکبار تا جذب کامل روغن تصویر برداری از نمونه در حال جذب روغن انجام شد [۲۸].

۲-۲-۲- رنگ

رنگ روغن و اولئوژل آن با دستگاه رنگ سنج (° نیون^۱ مدل ZE6000، ژاپن) اندازه‌گیری شد. ارزیابی رنگ نمونه‌ها در رنگ سنج بر پایه سیستم رنگ L^* ، a^* و b^* انجام گرفت. در این سیستم شاخص L^* درجه روشنایی (سفیدی یا سیاهی)، شاخص a^* تمایل به قرمز یا سبز بودن و شاخص b^* درجه زرد یا آبی بودن را نشان می‌دهد. شاخص‌های a^* و b^* اگر منفی بود نشان دهنده غالب بودن رنگ سبز و آبی است. نکته قابل توجه این است که باید فاکتورهای L^* ، a^* و b^* بر اساس متوسط نور روز که با D_{65} نشان داده شده و استاندارد می‌باشد، تعیین شود.

۲-۲-۳- طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

کرایوژل، روغن و اولئوژل با دستگاه طیف سنجی FT-IR (بروکر^۲ مدل Tensor 27، آلمان) آنالیز شدند. دستگاه در حالت انعکاس ضعیف و نمونه‌ها در طیف $4000-500 \text{ cm}^{-1}$ اسکن شدند [۱ و ۷].

۲-۲-۴- رئولوژی

دستگاه رئومتر (آنتون پار^۳ مدل physica MCR 301، اتريش) مجهز به سیستم کنترل دما برای اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی استفاده شد. اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی مدول الاستیک (G') و مدول ویسکوز (G'') با پروب صفحه‌ای موازی به قطر ۲۵ میلی‌متر انجام شد. حدود ۴-۵ گرم اولئوژل درون ظرف دستگاه ریخته شده و فاصله پروب با نمونه ۱ میلی‌متر تنظیم شد. برای اندازه‌گیری ناحیه ویسکوالاستیک خطی، استرس نوسانی رفت و برگشتی^۴ در دامنه ۱۰۰۰-۰/۱ پاسکال در فرکانس ۰/۲۵ رادیان بر ثانیه و ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد. علاوه بر این، G' و G'' با اسکن

5. Color meter
6. NIPPON
7. Bruker
8. Anton paar
9. Oscillation stress sweep

ساعت خشک شدند. سپس ۳ میلی لیتر متانول درون لوله آزمایش‌های حاوی نمونه خشک شده ریخته و توسط ورتکس کاملاً مخلوط و با فیلتر سر سرنگی ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر شد. در پایان برای تعیین غلظت نمونه‌ها از روش HPLC و رابطه (۲-۲) استفاده شد [۱۰ و ۳۱]؛
رابطه (۲-۲)

(مقدار کل ویتامین D موجود در نمونه / مقدار ویتامین D آزاد شده در محیط رهایش در زمان‌های مختلف) = رهایش (%)

۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

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

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی اولئوژل

مخلوط ژلاتین-صمغ زانتان

۳-۱-۱- جذب روغن

به منظور بررسی سرعت جذب روغن در ساختار کرایوژل، به صورت متوالی از کرایوژل از زمان قرار گرفتن کرایوژل در تماس با روغن تا جذب کامل روغن در ساختار آن تصویربرداری انجام شد. همانطور که در شکل ۱- ب مشاهده می‌شود، پس از گذشت یک دقیقه، بخشی از ساختار کرایوژل روغن جذب کرده است در حالی که با گذشت زمان و در دقیقه دوم تقریباً ۹۰ درصد ساختار از روغن پر شده و در پایان دقیقه سوم جذب روغن در ساختار کامل شده است. این مشاهدات به وضوح جذب سریع روغن توسط ساختار متخلخل کرایوژل را نشان می‌دهد.

تعیین غلظت ویتامین D نمونه‌ها از روش HPLC استفاده و پایداری ویتامین D در نمونه‌ها با کمک رابطه ۲-۱ محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری ویتامین D به روش HPLC، از دستگاه کروماتوگرافی مایع کارآیی بالا شیمادزو مجهز به ستون CD18-ODS و دکتکتور فرابنفش FDP-6AV استفاده شد. فاز متحرک متانول ۱۰۰ درصد با سرعت جریان ۱ میلی لیتر بر دقیقه بود. نمونه‌ها در حجم ۲۵ میکرولیتر درون دستگاه تزریق شده و در طول موج ۲۶۵ نانومتر در دمای محیط شناسایی شدند [۲۲].

(رابطه ۲-۱)

(مقدار کل ویتامین D موجود در نمونه / مقدار ویتامین D باقی مانده در نمونه در زمان‌های مختلف) = پایداری (%)

۲-۳-۲- رهایش در شرایط آزمایشگاهی

برای تهیه محیط شبیه سازی شده روده ۳۹/۱ میلی لیتر سود و ۵۰ میلی لیتر پتاسیم دی هیدروژن فسفات به داخل بشر ۲۰۰ میلی لیتری ریخته شد و پس از تنظیم pH با کمک سود و هیدروکلریک اسید ۱ مولار بر روی ۷/۴ با آب مقطر به حجم ۲۰۰ میلی لیتر رسانیده شد.

به منظور انجام آزمون رهایش در محیط روده مقدار ۵ گرم از نمونه‌های روغن و اولئوژل درون بشر ۵۰ میلی لیتری وزن شد و ۱۰ میلی لیتر محیط شبیه سازی شده روده حاوی ۱ درصد توپین ۸۰ و ۱ درصد آنزیم لیپاز پانکراس نوع ۲ به آن اضافه و درب آن توسط پارافیلیم بسته شد تا آزمون در حجم ثابت انجام شود. در ادامه بشر درون انکوباتور شیکر دار (آیکا مدل KS 4000i، آلمان) درجه سلسیوس با دور ۲۰۰ دور در دقیقه به مدت ۶ ساعت قرار گرفت. نمونه گیری در زمان‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۲۵، ۲۷۰، ۳۱۵ و ۳۶۰ دقیقه انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری ۳ میلی لیتر از محیط شبیه سازی شده روده از داخل بشر برداشته، درون لوله آزمایش ریخته و به همان میزان بافر تازه حاوی توپین ۸۰ و آنزیم به محیط اضافه شد تا حجم کل محیط ثابت باقی بماند. نمونه‌های به دست آمده بلافاصله به فریزر ۲۰- درجه سلسیوس منتقل شدند تا برای ۶ ساعت در آن جا نگهداری و کاملاً منجمد شوند. پس از آن، نمونه‌های منجمد توسط دستگاه خشک کن انجمادی به مدت ۲۴

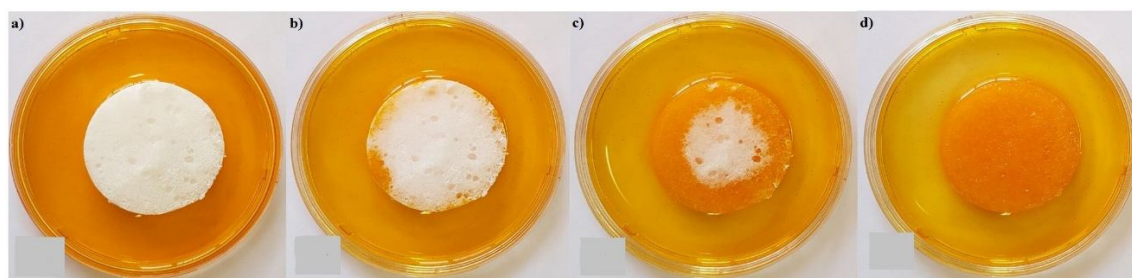


Fig 1 Imaging of cryogel during oil absorption at times 0 (a), 1 (b), 2 (c) and 3 (d) minutes

۳-۱-۲- رنگ

تفاوت معناداری بین دو نمونه نشان نداد. این نتایج تاثیر حضور اولئوژلاتور بر شاخص‌های رنگ را بیان می‌کند به طوری که ممکن است کاهش شدت روشنایی و زردی به ساختار غیر شفاف و سفید رنگ کرایوژل حاصل از ژلاتین و زانتان مرتبط باشد. بیلماز و اگوتکو (۲۰۱۴) نیز مشاهده کردند حضور موم زنبور عسل در ساختمان اولئوژل روغن فندق (در مقایسه با روغن تنها) L^* و b^* را کاهش داده اما اثر معناداری بر a^* ندارد [۳۲].

جدول ۱ داده‌های حاصل از اندازه‌گیری رنگ را نمایش می‌دهد. روغن کانولا با دارا بودن مقادیر شاخص‌های L^* (۹۲/۳۳) و b^* (۱۴/۴۱) به ترتیب رنگ زرد شفاف از خود نشان داد در حالی که بعد از افزوده شدن به ساختار کرایوژل و تولید اولئوژل، روشنایی محصول (۲۹/۷۷) و زردی (۶/۶۵) آن به صورت معناداری کاهش یافت. بر خلاف شاخص‌های L^* و b^* ، شاخص a^*

Table 1 Color values of canola oil and canola oil oleogel

b*	a*	L*	Sample
^a 14.44 ± 0.0	-1.28 ± 0.0	^a 92.33 ± 0.0	Canola Oil
^b 6.56 ± 0.3	-0.93 ± 0.2	^b 29.77 ± 0.0	Oleogel

In each column, different letters show significant differences among mean values ($p < 0.05$).

۳-۱-۳- طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

۳۰۰۰-۳۵۰۰ بر سانتی متر مرتبط با گروه‌های هیدروکسیل ظاهر شد. بعلاوه، با بار گذاری روغن در ساختار کرایوژل و تشکیل اولئوژل، نوارهای جذبی ۱۵۳۷ و ۱۴۴۸ بر سانتی متر به نوارهای جذبی ۱۵۴۱ و ۱۴۵۸ بر سانتی متر جا به جا و در ۱۷۴۶ بر سانتی متر ارتعاشات کششی گروه کربنیل در مشاهده شد [۷، ۱۹].

طیف سنجی FT-IR به منظور بررسی گروه‌های عاملی کرایوژل، روغن و اولئوژل مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، نوار جذبی ۱۲۳۶ بر سانتی متر مربوط به ارتعاشات کششی گروه استر (C-O)، نوار جذبی ۱۷۴۴ بر سانتی متر مرتبط با ارتعاشات کششی گروه کربونیل (C=O) و نوار جذبی ۲۸۲۲ بر سانتی متر مربوط به کشش CH_2 آلکان در کرایوژل آشکار شد. همچنین، نوارهای جذبی ۱۵۳۷ (N-H) و ۱۴۴۸ (C-N) بر سانتی متر ناشی از حضور ژلاتین و نوار جذبی ۳۲۲۹ بر سانتی متر مرتبط با پیوند هیدروژنی گروه‌های هیدروکسیل در شبکه کرایوژل مشاهده شد. در نمونه روغن، نوارهای جذبی مربوط به ارتعاشات کششی گروه‌های استر، کربونیل، آلکان و زنجیره آلکیلی $(CH_2)_n$ به ترتیب در نوارهای جذبی ۱۱۶۱، ۱۷۴۴، ۲۹۲۴ و ۷۲۱ بر سانتی متر آشکار شد. از طرفی، در نمونه اولئوژل، نوار جذبی پهن در محدوده

بنابراین، با توجه به نتایج به دست آمده، پیوندهای فیزیکی می‌توانند دلیلی بر تشکیل شبکه اولئوژل و به دام انداختن روغن باشند. این نتایج با نتایج مینگ و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. آن‌ها در بررسی ساختمان اولئوژل تهیه شده به روش امولسیون با استفاده از هیدروکسی پروپیل متیل سلولز و صمغ زانتان نوارهای جذبی ناشی از پیوند هیدروژنی را مشاهده کردند و ساختار نسبتاً منظم اولئوژل را به ساختار نیمه بلورین این دو پلی ساکارید مرتبط دانستند. همچنین، آن‌ها بیان کردند پیوند هیدروژنی با به دام انداختن قطرات روغن در تشکیل

شبکه متخلخل آئروژل پروتئین آب پنیر حاوی ذرات سلولز میکرو و نانو بلورین، شدت پیوندهای هیدروژنی را کاهش می‌دهد [۱]. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت کاهش شدت پیوند هیدروژنی در اولئوژل در مقایسه با کرایوژل می‌تواند ناشی از حضور مقدار قابل توجهی روغن (بیش از ۹۰ درصد) به همراه تعداد زیاد گروه‌های آلکیلی باشد.

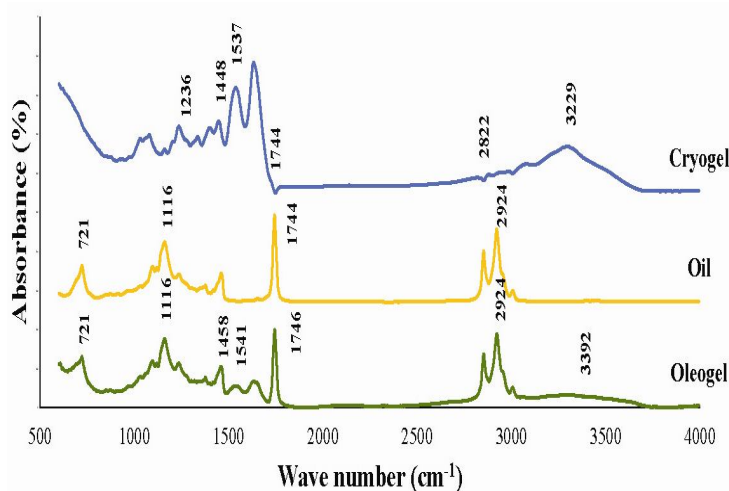


Fig 2 FTIR spectra of cryogel, oil and oleogel

نسبتاً ضعیفی تشکیل شده و افزایش تنش اعمالی قادر است بر این برهمکنش‌های ضعیف موجود در شبکه غلبه کند [۲۸].

قدرت ژل در تنش نوسانی ثابت ۰/۱ پاسکال در ناحیه ویسکو الاستیک خطی و دامنه بسامد ۱۰۰-۰/۱ رادیان بر ثانیه ارزیابی شد (شکل ۳-ب). با توجه به شکل، در تمامی بسامدها، نه تنها $G'' >> G'$ است بلکه شیب نمودار G' و G'' نیز تقریباً معادل صفر است که بر عدم وابستگی G' و G'' به بسامد دلالت می‌کند. علاوه بر این، ویسکوزیته مجموع (η^*) یک رابطه معکوس با بسامد نشان می‌دهد به طوری که با افزایش بسامد ویسکوزیته مجموع کاهش می‌یابد. با توجه به این مشاهدات، به طور واضح مشخص است که نمونه اولئوژل تحمل خوبی به تغییر شکل نشان داده، دارای رفتار شبه جامد بوده و در نتیجه دارای قدرت ژل زیادی است [۲۷].

شکل ۳-ج، اثر دما در بازه ۱۲۰-۲۰ درجه سلسیوس و بسامد ۰/۲۵ رادیان بر ثانیه بر قدرت ژل را نمایش می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در دماهای پایین‌تر از ۵۰ درجه سلسیوس، ساختار اولئوژل مدول ذخیره

شبکه موثر است [۱۹ و ۲۰]. در نتیجه، پیوند هیدروژنی می‌تواند نقش مهمی در شکل‌گیری شبکه ایفا کند. اگرچه، لویی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که در تشکیل اولئوژل بر پایه اولئوزلاتورهای با زنجیره‌های بلند آلکیلی (مانند موم‌ها)، پیوندهای واندروالس نقش کلیدی دارند [۱۶]. علاوه بر این، احمدی و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که بارگذاری روغن آب‌گریز در درون

۳-۱-۴- خصوصیات رئولوژیک

به منظور آگاهی از رفتار اولئوژل تحت اثر نیروهای خارجی، خصوصیات رئولوژیک آن شامل تنش، بسامد، دما و زمان رفت و برگشتی توسط رئومتر اندازه‌گیری شد. منحنی‌های G' (مدول ذخیره) و G'' (مدول اتلافی) نسبت به تنش نوسانی، ناحیه ویسکو الاستیک خطی ($G'' < G'$) را از ۰/۱ تا حدود ۱۲۰ پاسکال نشان می‌دهد (شکل ۳-الف). در تنش‌های پایین (تا ۱۰۰ پاسکال)، مقدار G' ($10^4 \times (8/63 - 2/59)$ پاسکال) که سفتی ژل را نشان می‌دهد، حدود ۱۱ برابر بیشتر از G'' بود. بالاتر بودن مدول ذخیره نسبت به مدول اتلافی، بر رفتار شبه جامد یا الاستیک اولئوژل دلالت می‌کند. در تنش‌های بالاتر فاصله این دو منحنی کاهش یافته و نزدیک به ۱۲۰ پاسکال، تنش تسلیم مشاهده شد. تنش تسلیم نشان دهنده شکست ساختار به دلیل شکسته شدن نیروهای درون مولکولی و شروع جریان یافتن است [۸]. این نتایج با نتایج پاتل و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند اولئوژل هیدروکسی پروپیل متیل سلولز تهیه شده به روش کف آبی با نیروهای داخلی

در بازیابی خود پس از اعمال نیروی برشی و حذف آن در طی زمان) نیز اندازه‌گیری شد. همانطور که شکل ۳-د نشان می‌دهد، در هر سه بازه زمانی ویسکوزیته ظاهری سیر نزولی داشت که به وابستگی ویسکوزیته ظاهری به زمان در نیروی برشی ثابت و خصوصیت تیکسوتروپیک دلالت می‌کند [۲۵]. گذشته از این، مشاهده می‌شود با افزایش یکباره نرخ برشی از ۰/۱ بر ثانیه به ۱۰ بر ثانیه ویسکوزیته از ۶۲۲۰ به ۷۴/۵ پاسکال در ثانیه کاهش یافت. این افت، حساسیت نمونه به نرخ برشی را آشکار می‌کند در حالی که در ادامه و با بازگشت مجدد نرخ برشی به مقدار اولیه، ویسکوزیته نمونه به ۳۷۳۰ پاسکال در ثانیه رسید و بازیابی ساختار نمونه حدود ۶۰ درصد ارزیابی شد. پاتل و دنویک (۲۰۱۵) بیان کردند در حالت مطلوب اگر یک ماده بتواند حداقل ۷۰ درصد مقادیر اولیه ویسکوزیته خود را بازیابی کند، خاصیت احیای ساختاری خوبی دارد. این در حالی بود که آن‌ها تنها ۵ درصد احیای ساختار در اولئوژل هیدروکسی پروپیل متیل سلولز تولیدی به روش کف را در نیروی برشی ۰/۱ و ۱۰ بر ثانیه مشاهده کردند [۲۶].

بالایی (نزدیک به ۱۰^۰ پاسکال) نشان داد. با افزایش دما از ۵۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس، نمودار شیب منفی کمی داشت که می‌تواند با دنا تورا سیون پروتئین در این بازه دمایی مرتبط باشد [۵۵]. همچنین، در دماهای بالاتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس، فاصله G' و G'' به شدت کاهش یافته و G' با شیب نسبتاً تندی کم می‌شود که نشان دهنده کاهش قدرت ژل و نرم شدن شبکه در دماهای بالای ۱۰۰ درجه سلسیوس می‌باشد. با این وجود، کرایوژل مخلوط ژلاتین و زانتان می‌تواند شبکه اولئوژل قوی را تولید کند که قادر است تا دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس را تحمل کند در حالی که ساختار بعضی از اولئوژل‌های مرسوم در دماهای بسیار پایین‌تر از ۱۰۰ کاملاً ذوب شده و شبکه از بین می‌رود [۴]. این مشاهده با نتیجه پاتل و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. آن‌ها در بررسی کرایوژل هیدروکسی پروپیل متیل سلولز به عنوان اولئوژلاتور جدید مشاهده کردند که اولئوژل ساختار خود را تا دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس حفظ می‌کند [۲۸].

برای درک بهتر خصوصیات رئولوژیک اولئوژل، خصوصیات تیکسوتروپیک (رفتار ماده در یک نیروی برشی ثابت در طی زمان) و احیای ساختار (توانایی ماده

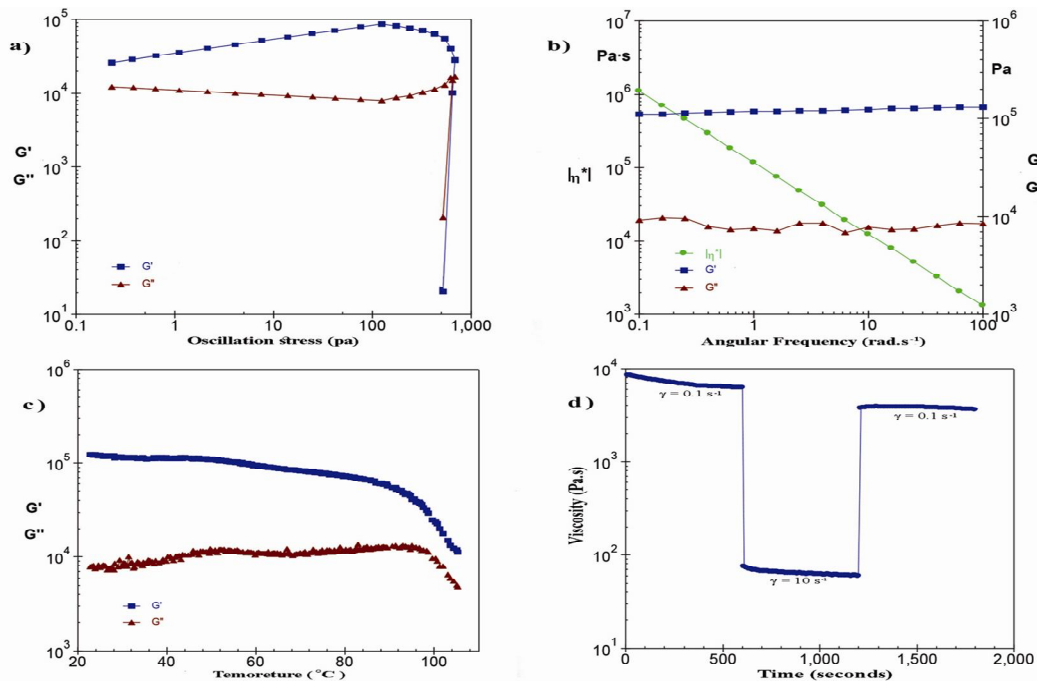


Fig 3a) stress, b) frequency and c) temperature sweeps; d) thixotropic and structural recovery measurement of canola oil oleogel

۲-۳- خصوصیات اولئوژل غنی شده با

ویتامین D

۳-۲-۱- پایداری انبار مانی

به منظور بررسی اثر حضور شبکه اولئوژل بر پایداری و حفظ ویتامین D، غلظت این ویتامین در نمونه روغن و اولئوژل غنی شده طی ۴۵ روز انبار مانی در دماهای ۲۵ و ۴۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد (شکل ۴-الف). مطابق با تجزیه واریانس داده‌ها، نوع روغن، دما و زمان به تنهایی و به صورت متقابل تاثیر معناداری بر پایداری انبارمانی ویتامین D نشان ندادند. همانطور که در شکل ۴-الف ملاحظه می‌شود، در دماهای ۲۵ درجه سلسیوس در هر دو نمونه روغن و اولئوژل، ویتامین نسبتاً پایدار بود و بیش از ۹۰ درصد آن حفظ شد ($p > 0.05$). این نتایج با نتایج کلوئه و همکاران مطابقت دارد. آن‌ها در بررسی غنی سازی روغن و اولئوژل با بتاکاروتن گزارش کردند بتاکاروتن در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بسیار پایدار بوده و بعد از ۶ ماه نگهداری در دمای اتاق در شبکه و یا خود روغن رسوب نکرد (۲). در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، در نمونه روغن تا روز ۱۸ام انبارمانی، محتوی ویتامین تا حدود ۹۴ درصد حفظ شد ولی پس از آن در روزهای ۲۷، ۳۶ و ۴۵ام درصد مقدار ویتامین باقی مانده به حدود ۸۷ درصد رسید. این در حالی است که در نمونه اولئوژل شیب کاهشی ملایم‌تری مشاهده شد. در پایان دوره انبار مانی، نمونه اولئوژل حاوی ۸۹ درصد ویتامین بود. با این وجود، تفاوت معناداری بین تیمارهای مختلف در طی زمان مشاهده نشد. در ارزیابی پایداری بتاکاروتن در روغن و اولئوژل اتیل سلولوز در دماهای ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس، پایداری بتاکاروتن در اولئوژل اتیل سلولوز نسبت به روغن به صورت معناداری بیشتر گزارش شد و گفته شد شبکه اولئوژل در مقایسه با روغن با حفاظت از بتاکاروتن در برابر اکسیژن از تجزیه و تخریب آن جلوگیری می‌کند [۲]. با توجه به نتایج، مدت زمان کوتاه انبارمانی و استفاده از درجه حرارت‌های نسبتاً پایین می‌توانند دلیلی بر عدم مشاهده تاثیر حضور شبکه بر حفظ و نگهداری ویتامین D باشد.

۳-۲-۲- رهایش ویتامین D در شرایط

آزمایشگاهی

پروفیل رهایش ویتامین D از اولئوژل در بافر شبیه ساز روده ($pH = 7.4$) در شکل ۴-ب نشان داده شده است. برای مقایسه بهتر، پروفیل رهایش ویتامین D از روغن کنجد نیز اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس، نوع روغن تاثیر معناداری بر میزان آزاد سازی ویتامین D نشان نداد در حالی که اثر زمان و اثر متقابل زمان و روغن معنادار گزارش شد. همانطور که در شکل ۴-ب مشاهده می‌شود، میزان ویتامین آزاد شده از روغن (۱/۴ درصد) به طور معناداری از اولئوژل آن (۳/۳ درصد) در پایان یک ساعت بیشتر بود. این می‌تواند به اثر محافظتی اولئوژلاتور در نگهداری ویتامین در پایان یک ساعت مرتبط باشد. با گذشت زمان درصد ویتامین آزاد شده از نمونه اولئوژل با شیب ملایمی افزایش یافته و پس از گذشت ۳ ساعت به ۴/۹ درصد رسید اما پس از این مدت، میزان ویتامین آزاد شده از نمونه تا پایان ۳۶۰ دقیقه ثابت بود. این در حالی است که نمونه روغنی تا پایان ساعت سوم درصد رهایش ثابتی (حدود ۴ درصد) داشته ولی در ادامه تا پایان ساعت ششم درصد رهایش در حال افزایش بود. در پایان مدت زمان رهایش ویتامین D درون بافر روده، درصد آزاد سازی ویتامین از نمونه‌های روغن و اولئوژل به ترتیب با ۵/۸ و ۵/۳ درصد، اختلاف معناداری نشان نداد. با این وجود رهایش در اولئوژل نسبت به روغن روند ملایم‌تری داشت. کلوئه و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر اولئوژلاسیون بر دسترسی زیستی بتاکاروتن در شرایط آزمایشگاهی بیان کردند حضور ساختار ژل مانند نشت روغن و ویتامین به درون محیط رهایش را کند کرده و مانع از قرار گیری آن‌ها در دسترس آنزیم لپاز و تجزیه‌شان می‌شود. آن‌ها همچنین گزارش کردند وزن مولکولی اولئوژلاتور مورد استفاده بر میزان رهایش موثر است به طوری که اتیل سلولوز با بالاترین درجه ویسکوزیته درصد رهایش بسیار کمتری در مقایسه با روغن پس از ۳ ساعت نشان داد [۲].

اولئوژل تولیدی با سایر ترکیبات زیست فعال، پایدارتر دماهای بالا و زمانهای طولانی و رهایش آنها بررسی شود.

۵- منابع

- [1] Ahmadi, M., Madadlou, A. and Saboury, A. A. 2016. Whey protein aerogel as blended with cellulose crystalline particles or loaded with fish oil. *Food chemistry*. 196: 1016-1022.
- [2] Chloe, M., Davidovich-Pinhas, M., Wright, A. J., Barbut, S. and Marangoni, A. G. 2017. Ethylcellulose oleogels for lipophilic bioactive delivery—effect of oleogelation on in vitro bioaccessibility and stability of beta-carotene. *Food & function*. 8: 1438-1451.
- [3] Dassanayake, L. S. K., Kodali, D. R. and Ueno, S. 2011. Formation of oleogels based on edible lipid materials. *Current opinion in colloid & interface science*. 16: 432-439.
- [4] Doan, C. D., Patel, A. R., Tavernier, I., De Clercq, N., Van Raemdonck, K., Van de Walle, D., Delbaere, C. and Dewettinck, K. 2016. The feasibility of wax - based oleogel as a potential costructurant with palm oil in low - saturated fat confectionery fillings. *European Journal of Lipid Science and Technology* 118: 1903-1914.
- [5] Du, A., Zhou, B., Zhang, Z. and Shen, J. 2013. A special material or a new state of matter: a review and reconsideration of the aerogel. *Materials*. 6: 941- 968.
- [6] Esteghlal, S., Niakousari, M. and Hosseini, S. M. H. 2018. Physical and mechanical properties of gelatin-CMC composite films under the influence of electrostatic interactions. *International journal of biological macromolecules*. 114: 1-9.
- [7] Fayaz, G., Goli, S. A. H. and Kadivar, M. 2017. A novel propolis wax-based organogel: Effect of oil type on its formation, crystal structure and thermal properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 94: 47-55.
- [8] Fayaz, G., Goli, S. A. H., Kadivar, M., Valoppi, F., Barba, L., Calligaris, S. and

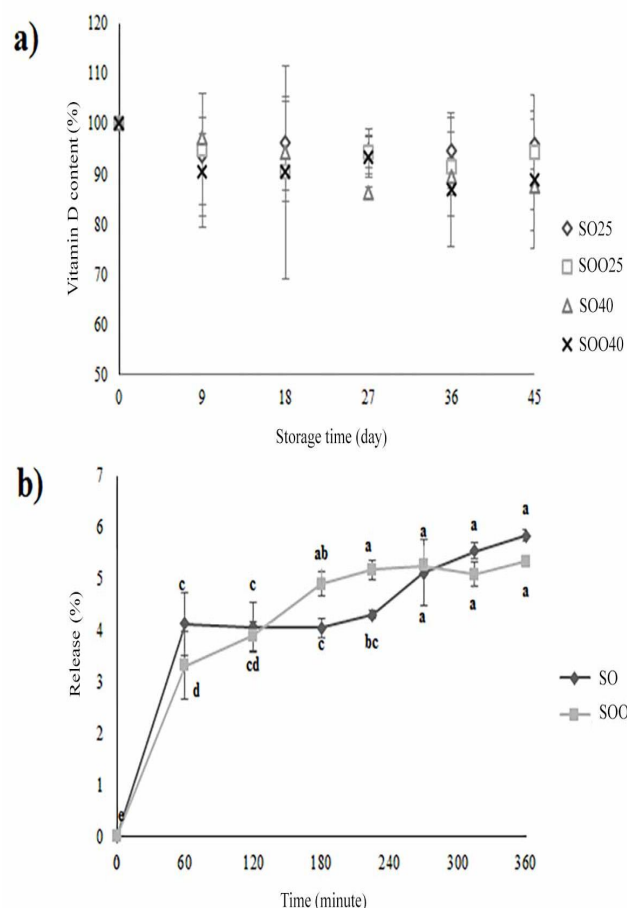


Fig 4 Vitamin D a) stability and b) release in oil and oleogel. Different letters show significant differences among mean values ($p < 0.05$).

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، برای اولین بار از زیست پلیمرهای آب دوست ژلاتین و زانتان به روش کف آبی برای تولید اولئوژل بدون استفاده از فرایند حرارتی استفاده شد. تصاویر جذب روغن نمونه بیانگر جذب سریع روغن در شبکه متخلخل کرایوژل بود. ارزیابی خصوصیات رئولوژیک نشان دادند که این شبکه می‌تواند ژل قوی تولید کند که می‌تواند تا دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس خود را حفظ کرده و حدود ۶۰ درصد قابلیت احیای ساختار داشته باشد. همچنین، نتایج نشان دادند که حضور شبکه اولئوژل بر پایداری ویتامین D در دمای ۴۰ درجه سلسیوس طی ۴۵ روز تاثیر معنی داری ندارد اما در آزاد سازی ویتامین در شرایط روده می‌تواند موثر باشد. از این رو توصیه می‌شود در تحقیقات بعدی غنی سازی

- organogels in edible oils. *Journal of colloid and interfacescience*. 483: 154-164.
- [17] Marangoni, A. G. 2012. Organogels: an alternative edible oil-structuring method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89: 749-780.
- [18] Martins, A. J., Pastrana, L., Vicente, A. and Cerqueira, M. 2018. Food Grade Polymers for the Gelation of Edible Oils Envisioning Food Applications. In: *Polymers for Food Applications*. Gutiérrez T. (Ed.). Springer, Cham, New York. pp. 591-608.
- [19] Meng, Z., Qi, K., Guo, Y., Wang, Y. and Liu, Y. 2017. Macro-micro structure characterization and molecular properties of emulsion-templated polysaccharide oleogels. *Food Hydrocolloids*. 77: 17-29.
- [20] 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.
- [21] O'Sullivan, C. M., Barbut, S. and 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.
- [22] Park, S. J., C. V. Garcia, G. H. Shin and J. T. Kim. 2017. Development of nanostructured lipid carriers for the encapsulation and controlled release of vitamin D3. *Food Chemistry*. 225: 213-219.
- [23] Patel, A. R. 2015. Polymer-Based Oleogels Created Using Indirect Methods. In: *Alternative Routes to Oil Structuring*. Hartel, R. W. (Ed.). Springer, Cham, New York. pp. 29-39.
- [24] Patel, A. R. 2018. Edible Foams Stabilized by Food-Grade Polymers. In: *Polymers for Food Applications*. Gutiérrez, T. (Ed.). Springer, Cham, New York. pp. 251-269.
- [25] Patel, A. R., Cludts, N., Sintang, B., Dona, M., Lewille, B., Lesaffer, A. and Dewettinck, K. 2014. Polysaccharide - Based Oleogels Prepared with an Emulsion Templated Approach. *ChemPhysChem*. 15: 3435-3439.
- Nicoli, M. C. 2017. Potential application of pomegranate seed oil oleogels based on monoglycerides, beeswax and propolis wax as partial substitutes of palm oil in functional chocolate spread. *LWT-Food Science and Technology*. 86: 523-529.
- [9] Gimeno, E., Castellote, A. I., Lamuela-Raventós, R. M., de la Torre, M. C. and López-Sabater, M. C. 2000. Rapid determination of vitamin E in vegetable oils by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*. 881: 251-254.
- [10] Hasanvand, E., Fathi, M., Bassiri, A., Javanmard, M. and Abbaszadeh, R. 2015. Novel starch based nanocarrier for vitamin D fortification of milk: Production and characterization. *Food and Bioproducts Processing*. 96: 264-277.
- [11] Hughes, N. E., Marangoni, A. G., Wright, A. J., Rogers, M. A. and Rush, J. W. 2009. Potential food applications of edible oil organogels. *Trends in Food Science & Technology*. 20: 470-480.
- [12] Iwanaga, K., Sumizawa, T., Miyazaki, M. and Kakemi, M. 2010. Characterization of organogel as a novel oral controlled release formulation for lipophilic compounds. *International journal of pharmaceutics*. 388: 123-128.
- [13] Lee, J. H., J. H. O'Keefe, D. Bell, D. D. Hensrud and M. F. Holick. 2008. Vitamin D deficiency: an important, common, and easily treatable cardiovascular risk factor. *Journal of the American College of Cardiology*. 52: 1949-1956.
- [14] Lee, S. 2018. Utilization of foam structured hydroxypropyl methylcellulose for oleogels and their application as a solid fat replacer in muffins. *Food Hydrocolloids*. 77: 796-802.
- [15] Luo, Y., Teng, Z. and Wang, Q. 2012. Development of zein nanoparticles coated with carboxymethyl chitosan for encapsulation and controlled release of vitamin D3. *Journal of agricultural and food chemistry*. 60: 836-843.
- [16] Lupi, F. R., Greco, V., Baldino, N., De Cindio, B., Fischer, P. and Gabriele, D. 2016. The effects of intermolecular interactions on the physical properties of

- [30] Tanti, R., Barbut, S. and Marangoni, A. G. 2016. Hydroxypropyl methylcellulose and methylcellulose structured oil as a replacement for shortening in sandwich cookie creams. *Food Hydrocolloids*. 61: 329-337.
- [31] Teng, Z., Luo, Y. and Wang, Q. 2013. Carboxymethyl chitosan-soy protein complex nanoparticles for the encapsulation and controlled release of vitamin D3. *Food chemistry*. 141: 524-532.
- [32] Yılmaz, E. and Ögütçü, M. 2014. Properties and stability of hazelnut oil organogels with beeswax and monoglyceride. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 91: 1007-1017.
- [33] Zahi, M. R., Liang, H. and Yuan, Q. 2015. Improving the antimicrobial activity of D-limonene using a novel organogel-based nanoemulsion. *Food Control* 50: 554-559.
- [26] Patel, A. R. and Dewettinck, K. 2015. Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel. *European journal of lipid science and technology*. 117: 1772-1781.
- [27] Patel, A. R., Rajarethinam, 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.
- [28] Patel, A. R., Schatteman, D., Lesaffer, A. and Dewettinck, K. 2013. A foam-templated approach for fabricating organogels using a water-soluble polymer. *Rsc Advances*. 3: 22900-22903.
- [29] Plieva, F. M., Ekström, P., Galaev, I. Y. and Mattiasson, B. 2008. Monolithic cryogels with open porous structure and unique double-continuous macroporous networks. *Soft Matter*. 4: 2418-2428.

Investigation of oleogel characteristics in non-thermal process using gelatin and xanthan biopolymers and its fortification with vitamin D

Abdollahi, M.¹, Hossein Goli, S. A.^{2*}, Soltanizadeh, N.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. Assistant professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

(Received: 2019/03/06 Accepted:2019/06/02)

In this paper, biopolymers of gelatin and xanthan were used to oleogel preparation and its fortification with vitamin D in non-thermal process. The results obtained from spectroscopy studies exhibited that hydrogen bonding originated from biopolymers, was effective in formation of oleogel structure. In addition, the oleogel showed thixotropic behavior, 60% structural recovery and desirable gel strength at temperatures below 100 °C. Also, enriched vitamin D oleogel was prepared and vitamin stability during 45 days of storage at different temperatures (25 and 40 °C) and vitamin D release (%) was investigated using high performance liquid chromatography. The results showed that the presence of biopolymers network in short terms of storage had no significant effect on vitamin D stability while it can affect the controlled release of vitamin in comparison with oil. According to the results, gelatin and xanthan gum oleogel prepared in a non-thermal way can be used as a replacement of solid fats and carrier of bioactive compounds in food products.

Key Words: Gelatin, Xanthan, Oleogel, Rheology, Release

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