بررسی اثر سرعت سرد کردن و غلظت ارگانوژلاتور بر ویژگی های بافتی اولئوژل روغن کنجد و مقایسه آن با چربی حیوانی

مریم مقتدایی[۱]، نفیسه سلطانی زاده[۲*]، سید امیرحسین گلی[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۲۸)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر غلظت ارگانوژلاتور و سرعت سرد کردن بر روی ویژگی‌های بافتی اولئوژل‌های تولیدی از موم زنبور عسل و اتیل سلولز می باشد تا بتوان به محصولی با ویژگی‌های مشابه چربی حیوانی دست یافت. بدین منظور اولئوژل‌هایی با استفاده از روغن کنجد و دو نوع ارگانوژلاتور موم زنبور عسل و اتیل سلولز در غلظت های ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد تهیه شد و بلافاصله در دو دمای ٤ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرد گردید. اولئوژل‌های حاصل از لحاظ میزان نفوذپذیری و نیروی لازم برای اکستروژن معکوس مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج حاصل با چربی حیوانی حاصل از قلوه‌گاه و سردست گوساله مقایسه شد. همچنین ارزیابی های روبش-کرنش و روبش-فرکانس بر روی نمونه ها انجام گرفت. نتایج نشان داد با افزایش غلظت ارگانوژلاتور ها بر میزان سفتی اولئوژل های حاصل افزوده شد. سرد کردن در دمای ٤ درجه سانتی گراد نسبت به دمای ۲۵ درجه سانتی گراد توانست میزان نیروی لازم برای نفوذپذیری را افزایش داده و نیروی لازم برای اکستروژن معکوس را کاهش دهد. ویژگی های رئولوژیکی نیز تحت تاثیر سرعت سرد کردن و غلظت ارگانوژلاتور قرار گرفتند. مقایسه چربی حیوانی با اولئوژل ها نشان داد میزان مدول اتلاف و ذخیره در چربی حیوانی بیشتر از اولئوژل ها بود و حتی زاویه فازی کمتر و الاستیسیته نسبی بیشتری نسبت به اولئوژل ها داشتند. اگرچه اولئوژل ها نتوانستند از نظر ویژگی های بافتی مشابه چربی حیوانی باشند اما تنها اولئوژل های حاوی ۱۰ درصد ارگانوژلاتور میزان نیروی اکستروژن معکوس مشابه چربی حیوانی از خود نشان دادند.

کلید واژگان: اولئوژل، موم زنبورعسل، اتیل سلولز، رئولوژی

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

۱- مقدمه

چربی‌ها و روغن‌ها به عنوان مواد ضروری در رژیم غذایی انسان از زمان‌های ماقبل تاریخ شناخته شده‌اند. روغن‌های مایع عمدتا حاوی اسیدهای چرب تک و چند غیر اشباعی می‌باشند این در حالی است که چربی‌های جامد عمدتا میزان بالاتری از اسیدهای چرب اشباع و در برخی موارد ترانس را دارند [۱]. چربی‌های اشباع از نقطه نظر فرمولاسیون مواد غذایی سودمند می‌باشند زیرا وظیفه ایجاد احساس دهانی و خواص بافتی در بسیاری از مواد غذایی از جمله بستنی، شکلات و محصولات گوشتی را بر عهده دارند [۲]. با این وجود، چربی‌های اشباع با تولید میزان زیادی کالری سبب بروز چاقی و بیماری‌های قلبی- عروقی می‌شوند. همچنین اسید چرب ترانس میزان تولید کلسترول را افزایش می-دهد. متاسفانه جایگزینی مستقیم اسیدهای چرب اشباع با روغن-های غیراشباع در مواد غذایی، یک چالش فنی قابل توجه است زیرا جایگزینی مستقیم چربی جامد با منابع چربی حاوی مقادیر زیاد اسیدهای چرب غیراشباع، منجر به کاهش کیفیت محصول می‌گردد که از آن جمله می‌توان به مهاجرت و نشت روغن و ایجاد شکوفه چربی در شکلات و افزایش سفتی محصول در محصولات گوشتی خرد شده اشاره نمود [۳]. بنابراین یکی از راهکارهای موثر در زمینه کاهش میزان چربی‌های اشباع و ترانس، ایجاد ساختار و بافت در روغن‌های مایع می‌باشد.

تولید ژل یک روش برای ایجاد ساختار در روغن است که به طور گسترده در دهه گذشته مورد مطالعه قرار گرفته است و ارگانوژلاسیون نامیده می‌شود. اولئوژل‌ها زیرمجموعه‌ای از ارگانوژل‌ها هستند و با افزودن عامل ژل کننده مناسب به یک مایع آلی یا چربی دوست تشکیل می‌شوند. عامل ژل کننده در روغن تشکیل زنجیره می‌دهد، بین زنجیرها ارتباط برقرار می‌کند و منجر به شکل گیری شبکه سه بعدی می‌شود که فاز مایع را تثبیت خواهد کرد و به آن ارگانوژلاتور گفته می‌شود. اولئوژل‌ها برخی مزایا شامل عدم تغییر در ساختار اسید چرب که منجر به عدم تولید اسیدهای چرب ترانس و اشباع می‌شود را دارند [٤].

در میان ترکیبات مختلف که برای ژل شدن روغن گیاهی بررسی شده‌اند، موم‌ها به دلیل قابلیت زیاد برای اتصال به روغن، یکی از بهترین مواد به شمار می‌روند [۵]. ارزش اقتصادی (قابلیت قابل توجه تشکیل ژل در غلظت پایین، در حد ۵ /۰ درصد وزنی)، در دسترس بودن شماری از موم‌ها که برای استفاده در مواد غذایی مورد تایید می‌باشند (البته به عنوان افزودنی غیرمستقیم) [٦] و علاوه بر این، برگشت پذیری حرارتی ژل تشکیل شده با موم از جمله ویژگی‌های مهم این دسته از ارگانوژلاتورها می‌باشد [۷]. این ارگانوژل با تشکیل شبکه‌ای از ذرات کریستالی، روغن مایع را داخل خود به دام می اندازد. خصوصیات مکانیکی این اولئوژل‌ها به اندازه، شکل و تعامل بین کریستال‌ها بستگی دارد [۸]. ایلماز و اتلو (۲۰۱٤)، اولئوژل‌هایی از روغن زیتون و ارگانوژل‌های موم آفتابگردان و موم زنبور عسل در سطوح ۳، ۷، ۱۰ درصد تولید کرده و این اولئوژل‌ها را با مارگارین صبحانه مقایسه نمودند. آنها دریافتند اولئوژل حاوی ۳ درصد ارگانوژل موم آفتابگردان و ۷ درصد موم زنبور عسل از نظر بافتی مشابهت زیادی به مارگارین صبحانه داشت [۹]. مطالعه‌ای با هدف تعیین ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، حرارتی و حسی ارگانوژل موم زنبورعسل و موم آفتابگردان و روغن فندق معطر و غنی شده با ویتامین E توسط ایلماز و اوتلو در سال ۲۰۱۵ انجام گرفت. این پژوهش تاییدکننده قابلیت استفاده از این ارگانوژل در فرمولاسیون مارگارین و اسپردها بود [۱۰].

اتیل سلولز یکی دیگر از ترکیباتی است که می تواند سبب ایجاد ساختار در روغن های گیاهی شود [۱۱]. ژل شدن این پلیمر با تشکیل یک شبکه ابرمولکولی از طریق اتصالات عرضی فیزیکی یا شیمیایی بین رشته‌های پلیمر بدست می‌آید. قدرت این شبکه وابسته به وزن مولکولی پلیمر و همچنین تراکم اتصالات عرضی است [۱۲]. ثبات اولئوژل‌های اتیل سلولز با توجه به غلظت ترکیب ژل کننده، نوع حلال و سرعت سرد شدن، وزن مولکولی پلیمر و نحوه آماده‌سازی اولئوژل متفاوت است [۸]. بنابراین ویژگی‌های ژل اتیل سلولز می‌تواند به طریق مختلف دستکاری شود. نوع روغن، غلظت پلیمر، وزن مولکولی پلیمر، افزودن مولکول‌های کوچک مثل سورفاکتانت‌ها یا مولکول‌های قطبی برخی از روش‌های موثر در این زمینه هستند. این اولئوژل‌ها همچنین به عوامل بیرونی از جمله حرارت، سرد کردن، اعمال نیروی برشی در طول ایجاد ژل و دمای تشکیل ژل حساس می‌باشند [۱۳]. زتزل و همکاران (۲۰۱٤) در بررسی اثر نوع اتیل سلولز بر ویژگی‌های رئولوژیکی اولئوژل‌های حاصل از آن دریافتند، اتیل سلولزهای دارای ویسکوزیته ۱۰۰ سانتی پویز میزان مدول الاستیک و ذخیره بیشتری نسبت به انواع

دارای ویسکوزیته ٤٥ سانتی پویز ایجاد کردند [١٤]. مارتینز و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی اثر غلظت ماده ژل کننده بر ویژگی‌های رئولوژیکی اولئوژل حاصل از اتیل سلولز پرداختند و افزایش میزان مدول ذخیره و الاستیک را با افزایش غلظت اتیل سلولز گزارش نمودند [۱۵].

به دلیل افزایش مصرف فرآورده‌های گوشتی، حذف و یا کاهش چربی حیوانی در این محصولات با رعایت ویژگی بافت به منظور کاهش کلسترول و اشباعیت از اهمیت بسزایی برخوردار است. با این وجود تاکنون تحقیقی بر روی تولید اولئوژل با ویژگی‌های بافتی مشابه چربی حیوانی صورت نگرفته است. همچنین تاکنون اثر عوامل فرایند از جمله غلظت ارگانوژلاتور و سرعت سرد کردن بر ویژگی های رئولوژیکی اولئوژل حاصل از آن به خصوص در رابطه با موم زنبورعسل گزارش نشده است. لذا هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی اثر غلظت ارگانوژلاتور و سرعت سرد کردن بر ویژگی‌های بافتی و رئولوژیکی اولئوژل‌های تولیدی از اتیل سلولز و موم زنبور عسل است تا بتوان محصولی با ویژگی‌های مشابه چربی حیوانی تولید نمود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- استخراج و آماده سازی چربی حیوانی

با توجه به اینکه چربی مورد استفاده در تولید فرآورده‌های گوشتی، چربی موجود در سردست و قلوه گاه گوساله می‌باشد، ابتدا گوشت تازه سردست و قلوه گاه از گوساله ۳ تا ۵ ساله از فروشگاه‌های محلی تهیه شده و پس از قرار گرفتن در بسته پلیمری از جنس پلی اتیلن سبک بر روی یخ به پایلوت گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه صنعتی اصفهان انتقال داده شد. سپس گوشت به قطعات کوچک بریده شده، رطوبت موجود در آن با استفاده از دستگاه خشک‌کن انجمادی (دنا وکیوم، مدل FD-5003-BT، ایران) حذف شد و چربی به روش سوکسله مطابق AOAC (۹۸۳/۱۳) استخراج گردید. بدین منظور حدود ۵ گرم از هریک از این بخش‌ها توزین شده و درون کاغذ مخصوص این آزمون پیچیده و در قسمت استخراج کننده دستگاه سوکسله قرار داده شد. حلال پترولیوم‌اتر در دستگاه ریخته شد و استخراج چربی به مدت ٦ ساعت انجام گرفت [١٦]. میزان ۱۵ گرم از چربی استخراج شده در ظروف استوانه‌ای ۸۰ میلی‌لیتری به قطر داخلی ٤ سانتی‌متر ریخته شد تا برای ارزیابی بافت مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مقداری از چربی در ظرف دیگری قرار گرفت تا برای ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی به کار رود. نمونه‌های تهیه شده به مدت ٢٤ ساعت به صورت در بسته درون یخچال ٤ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا برای ارزیابی بافت مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۲- آماده‌سازی اولئوژل

۲-۲-۱- اولئوژل اتیل سلولز

۱۵ گرم روغن کنجد تصفیه شده (KMP، کشور هند) در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری دارای شیر اتصال به خلا توزین شد و ارگانوژلاتور اتیل سلولز (ویسکوزیته ۱۰ سانتی پویز، شرکت سیگمای آمریکا) به آن اضافه گردید. تولید اولئوژل‌ها با استفاده از سه غلظت ۵ درصد، ۷/۵ درصد و ۱۰ درصد وزنی اتیل سلولز انجام شد. ارلن حاوی اتیل سلولز، روغن و مگنت در حمام روغنی که از قبل دمای آن توسط گرم‌کن مگنت‌دار به حدود ۱۰۰ درجه سانتی گراد رسیده بود، قرار گرفت. عملیات حرارت‌دهی تحت خلا و با هم زدن مداوم تا افزایش دمای نمونه به حدود ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. در این شرایط، مخلوط کاملاً به صورت شفاف درآمد. پس از اتمام حرارت‌دهی و حل شدن کامل اتیل سلولز در روغن، ۱۵ گرم از اولئوژل حاصل در ظروف استوانه‌ای ۸۰ میلی‌لیتری به قطر داخلی ٤ سانتی متر ریخته شد تا برای ارزیابی بافت مورد استفاده قرار گیرد. مابقی آن نیز در ظرف دیگری سرد شد و برای ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی استفاده شد. سرد کردن در دو دمای ٤ درجه سانتی‌گراد (سرد کردن سریع) و ۲۵ درجه سانتی‌گراد (سرد کردن آهسته) انجام گرفت. پس از ٢٤ساعت، آنالیزهای مربوط بر روی نمونه‌ها انجام شد [۱۷].

۲-۲-۲- اولئوژل موم زنبور عسل

برای تولید اولئوژل موم زنبور عسل، از روش قبل استفاده شد. ۱۵ گرم از روغن کنجد در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری دارای شیر اتصال به خلا توزین شد. موم زنبور عسل خرد شده در سه غلظت ۵ درصد، ۷/۵ درصد و ۱۰ درصد وزنی به آن افزوده شد. سپس نمونه حاوی موم زنبور عسل و روغن کنجد به همراه مگنت در حمام روغنی با دمای محیط قرار داده شد و حرارت‌دهی تحت خلا تا نقطه ذوب موم زنبور عسل در حدود ۷۰ درجه سانتی‌گراد ادامه یافت. پس از انحلال کامل موم، ۱۵ گرم از اولئوژل حاصل در ظروف استوانه‌ای ۸۰ میلی‌لیتری به قطر داخلی ٤ سانتی‌متر ریخته شد تا برای ارزیابی بافت

مورد استفاده قرار گیرد. مابقی آن نیز در ظرف دیگری سرد شد و برای ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی استفاده گردید. سرد کردن به دو روش آهسته (دمای اتاق ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و سریع (دمای ٤ درجه سانتی‌گراد) انجام شد و در نهایت پس از گذشت زمان ٢٤ ساعت، آنالیزهای مربوط به نمونه‌ها انجام گرفت.

۲-۳- اکستروژن معکوس

آزمون اکستروژن معکوس با استفاده از دستگاه ارزیابی بافت (اینسترون[1]، مدل ۱۱٤۰، انگلستان) انجام گرفت. نمونه‌های اولئوژل و چربی حیوانی به کمک سل بارگذار ۵ کیلوگرمی، پروب با قطر ۳۵ میلی‌متر و سرعت ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه فشرده شدند و درنهایت نیروی بیشینه اندازه‌گیری شد [۱۸].

۲-٤- نفوذ پذیری

برای ارزیابی میزان نفوذپذیری نمونه‌های اولئوژل و چربی حیوانی نیز از دستگاه اینسترون استفاده شد. بدین منظور، سل بارگذار ۵ کیلوگرمی و پروبی با قطر ١٤ میلی‌متر و سرعت ۱۰۰میلی‌متر بر دقیقه به کار رفت و نیروی بیشینه برای نفوذ تا عمق ۷ میلی‌متر بدست آمد [۱۹].

۲-۵- ارزیابی ویژگی های رئولوژیکی

ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه‌های اولئوژل و چربی حیوانی توسط رئومتر صفحه و مخروط (فیزیکا آنتون پار[2]، مدل MCR 301، استرالیا) ارزیابی شد. در این آزمون از پروب با قطر ۵۰ میلی‌متر، زاویه ۲ درجه و فاصله ۲۰۸ میکرومتر استفاده شد. ارگانوژل‌ها پس از تشکیل ساختار، برش داده شده و بر روی صفحه رئومتر قرار گرفتند. آزمون روبش کرنش[3] در محدوده ۰/۰۱ تا ۱۰۰ درصد (۱۰ داده در هر قسمت ده‌تایی) و آزمون روبش فرکانس[4] از ۱ تا ۱۰۰ مگاهرتز و با اعمال نیروی برشی ۰/۰۵ ٪ انجام گرفت و در نهایت مدول ذخیره و اتلاف که به ترتیب نشان دهنده میزان الاستیسیته و مدول بخش ویسکوز است، ارزیابی گردید [١٤, ٢٠].

۲-٦- طرح آماری و روش آنالیز نتایج

در این تحقیق برای ارزیابی نتایج از طرح کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل استفاده شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD توسط نرم افزار SAS در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. تمامی آزمون‌ها سه بار تکرار گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اکستروژن معکوس

در اکستروژن معکوس، نمونه در حد فاصل بین پروب و دیواره ظرف تحت فشار قرار می‌گیرد تا به جریان درآید. نتایج اکستروژن معکوس نشان داد نوع چربی حیوانی و اولئوژل اثر معنی‌داری بر میزان نیروی لازم برای فشردن نمونه‌ها دارد. بر این اساس، ماکزیمم نیروی لازم برای اکستروژن معکوس چربی قلوه‌گاه و سردست در حدود ۱۸ تا ۲۲ نیوتن بود و چربی قلوه‌گاه به طور معنی‌داری از بافت سفت‌تری نسبت به چربی سردست برخوردار بود ($P<0/05$؛ شکل ۱). لاردو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعات خود دریافتند لیپیدهای غیراشباع‌تر، انعطاف‌پذیری بیشتری دارند. از اینرو تری‌گلیسریدهایی که حاوی مقادیر زیادتری پیوندهای دوگانه هستند به دلیل انعطاف‌پذیری بالای خود می‌توانند محکم‌تر به یکدیگر فشرده شده و بافت سفت‌تری ایجاد نمایند [۲۱]. از آنجایی که چربی قلوه‌گاه از غیراشباعیت بیشتری نسبت به چربی سردست برخوردار است، نتایج به دست آمده قابل توجیه می‌باشد. نمونه‌های اولئوژل با غلظت ۱۰ درصد می‌تواند سفتی در حدود چربی حیوانی ایجاد نمایند و مشابه‌ترین نمونه‌ها از نظر قدرت ژل به چربی حیوانی، اولئوژل‌های اتیل‌سلولز با غلظت ۱۰ درصد و سرعت سرد کردن آهسته و نمونه موم با غلظت ۱۰ درصد و سرعت سرد کردن زیاد هستند (شکل ۱).

براساس نتایج اکستروژن معکوس، با افزایش غلظت ارگانوژلاتور موم زنبور عسل، قدرت ژل حاصل از آن افزایش می‌یابد (شکل۲). به نظر می‌رسد افزایش میزان ارگانوژلاتور عاملی برای تقویت زنجیره‌های داخلی پلیمر به دلیل تعداد بیشتر پیوندهای هیدروژنی می‌باشد که ایجاد نقاط اتصال به هنگام تشکیل ژل را افزایش داده و شبکه ژلی قوی‌تر تشکیل می‌دهد [۳]. ایلماز و اوگوتکو (۲۰۱٤) افزایش سختی اولئوژل موم زنبور عسل با افزایش غلظت ارگانوژلاتور را گزارش کردند [۹]. ارگانوژلاتور اتیل سلولز نیز رفتار مشابهی به هنگام افزایش غلظت اولئوژل نشان داد (شکل ۳). زتزل و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش غلظت اتیل سلولز را عاملی اثرگذار بر سفتی ژل تولیدی دانستند [۲۲].

1. Instron
2. *Physica* Anton Paar
3. Strain sweep
4. Frequency sweep

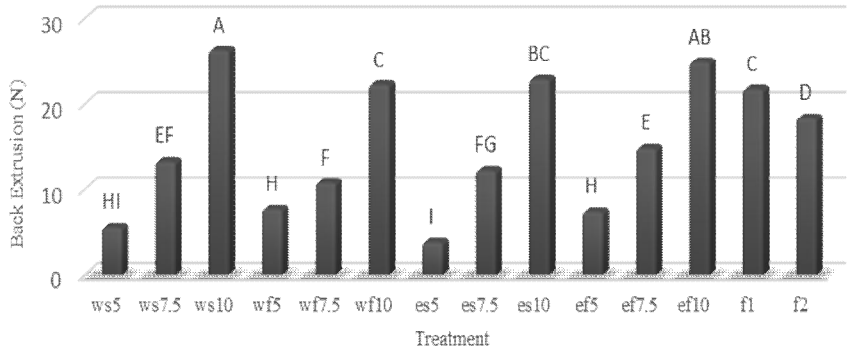


Fig 1 Back extrusion of the animal fats and the oleogels produced by different concentrations of BW at two cooling temperatures. E: EC oleogel; W: BW oleogel; 5, 7.5, 10: Organogelator concentration; S: Temperature of 25 ^{o}C; F: Temperature of 4 ^{o}C; F1: Flank fat; F2: Shank fat. Different letters indicates significant difference between treatments ($p<0.05$).

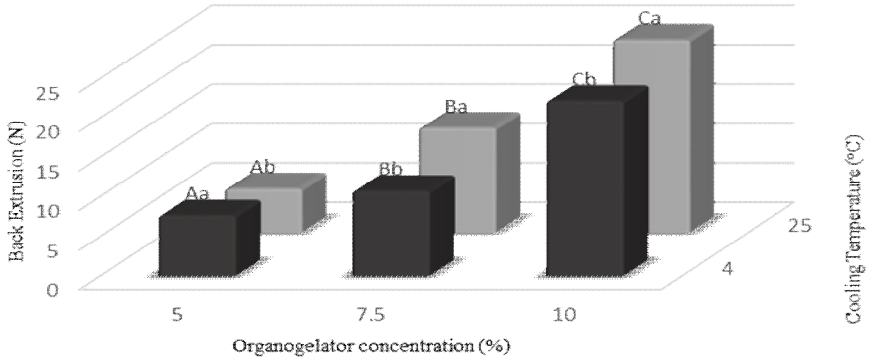


Fig 2 Back extrusion of the oleogels produced by different concentrations of bees wax at two cooling temperatures. Different capital letters indicate the significant difference between organogelator concentration and different lowercase letters indicate the significant difference between two cooling temperature ($P<0.05$).

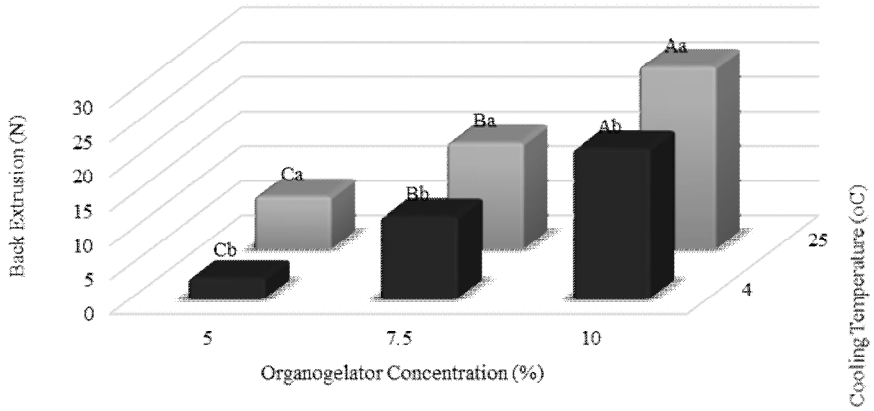


Fig 3 Back extrusion of the oleogels produced by different concentrations of ethylcellulose at two cooling temperatures. Different capital letters indicate the significant difference between organogelator concentration and different lowercase letters indicate the significant difference between two cooling temperature ($P<0.05$).

همچنین دمای سرد کردن بر قدرت اولئوژل‌های تولیدی مؤثر بوده و سرد کردن با سرعت کم (دمای ۲۵ درجه سانتی گراد) موجب افزایش قدرت ژل تولیدی شد. داویدوویچ-پنهاس و همکاران (۲۰۱۵) نیز نتایج مشابهی را در رابطه با اثر سرعت سرد کردن بر میزان سفتی اولئوژل گزارش کردند [۲۳]. مارانگونی و همکاران (۲۰۰۰ و ۲۰۰۳) نشان دادند که رئولوژی شبکه‌ای متشکل از تجمع ذرات کلوئیدی به شکل و میانگین اندازه ذرات کریستال، برهمکنش هر ذره با ذره دیگر، انرژی سطحی جامد-مایع و آرایش فاز جامد در شبکه سه بعدی (یعنی ابعاد فرکتال) بستگی دارد [۲٤, ۲۵]. عبدالله و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که n-آلکن‌ها مولکول‌های خود را به صورت موازی جهت‌دهی کرده و ساختارهای صفحه مانند به وجود می‌آورند. n-آلکن‌ها تنها در نقاط اتصال که موجب شکل‌گیری شبکه سه بعدی می‌شود، قرار گرفته و فضای بین این صفحات را اشغال نمی‌نمایند [۲٦, ۲۷]. نقاط اتصال تعیین کننده خاصیت لایه لایه‌ای شدن و جریان یافتن اولئوژل‌ها هستند. داویدوویچ-پینهاس و همکاران (۲۰۱۵) پیشنهاد کردند که تشکیل ژل در دماهای بالاتر (بدون همزدن نمونه) به ارگانوژلاتور این فرصت را می‌دهد تا نواحی اتصال بیشتری به وجود آورد. توانایی تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین رشته‌ای ارگانوژلاتور به شدت تحت تاثیر شرایط دمایی مورد استفاده طی ۲٤ ساعت ابتدایی تشکیل ژل است به طوری که استفاده از دماهای پایین موجب اتصال نامنظم و سریع رشته‌های ارگانوژلاتور توسط پیوند هیدروژنی می‌شود. این پیوندهای هیدروژنی در اثر نیروی خارجی به راحتی شکسته می‌شوند [۲۳] و اولئوژل به راحتی به جریان در می‌آید. از اینرو میزان نیروی لازم برای اکستروژن معکوس اولئوژل‌ها با سرد کردن در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد.

۳-۲- نفوذپذیری

در بررسی میزان نفوذپذیری چربی حیوانی و اولئوژل‌های تهیه شده با غلظت‌های مختلف اولئوژل و سرعت‌های متفاوت سرد کردن، روندی مشابه اکستروژن معکوس مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ٤). هرچند در رابطه با این ویژگی، نمونه‌های چربی حیوانی بافت سفت‌تری نسبت به نمونه‌های اولئوژل داشتند.

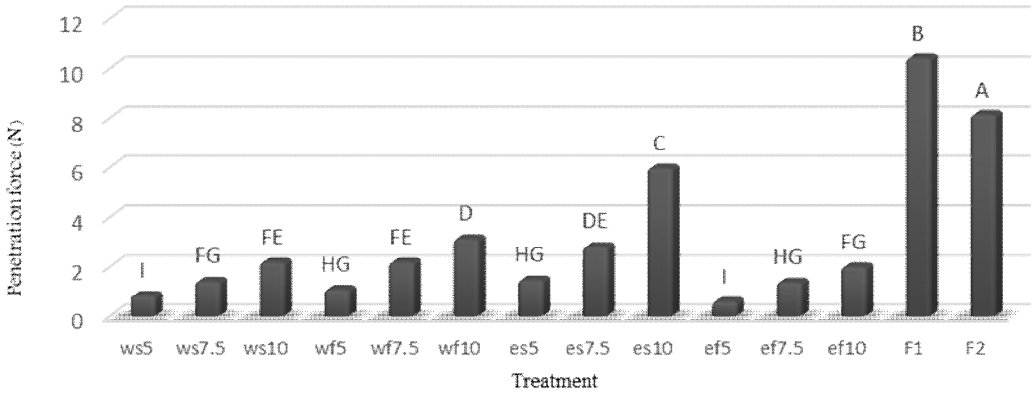


Fig 4 Penetration force of the animal fats and the oleogels produced by different concentrations of BW at two cooling temperatures. E: EC oleogel; W: BW oleogel; 5, 7.5, 10: Organogelator concentration; S: Temperature of 25 ^{o}C; F: Temperature of 4 ^{o}C; F1: Flank fat; F2: Shank fat. Different letters indicates significant difference between treatments ($p<0.05$).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نفوذپذیری اولئوژل‌ها نشان داد دما و غلظت‌های مختلف ارگانوژلاتور اثر معنی‌داری بر میزان نفوذپذیری نمونه‌ها داشت ($P<۰/۰۵$). نتایج به دست آمده در شکل‌های ۵ و ٦ نشان می‌دهد با افزایش غلظت ارگانوژلاتور، میزان نیروی لازم برای نفوذپذیری نمونه‌های اولئوژل افزایش یافت. همچنین سرد کردن در دماهای بالاتر موجب کاهش نفوذپذیری اولئوژل‌ها گردید. زتزل و

همکاران در سال ۲۰۱۲ افزایش قدرت ژل اتیل سلولز و نفوذپذیری آن در غلظت‌های مختلف را بررسی کردند و کاهش نفوذپذیری به دلیل تجمع پیوندهای هیدروژنی با افزایش غلظت ارگانوژلاتور را تایید کردند [۲۲]. گراولا و همکاران (۲۰۱۲) نیز کاهش نفوذپذیری با افزایش غلظت ارگانوژلاتور اتیل سلولز را گزارش نمودند [۱۳]. سرد کردن سریع سبب شکل‌گیری شبکه یکنواختی از کریستال‌های کوچک با سطح زیاد و اندازه منافذ کوچک می‌شود. برخلاف آن، سرد کردن در دماهای بالاتر منجر به ایجاد کریستال‌های خوشه مانند با اندازه منافذ بزرگ می‌شود [۲۸]. این ساختار کریستالی مقاومت کمتری در برابر نیروهای خارجی داشته و از میزان سفتی کمتری برخوردار است.

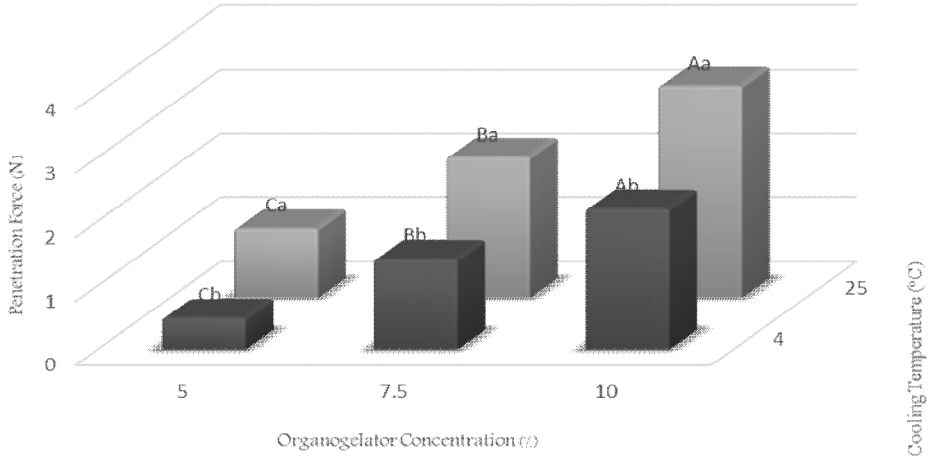


Fig 5 Penetration force of the oleogels produced by different concentrations of bees wax at two cooling temperatures. Different capital letters indicate the significant difference between organogelator concentration and different lowercase letters indicate the significant difference between two cooling temperature (P<0.05).

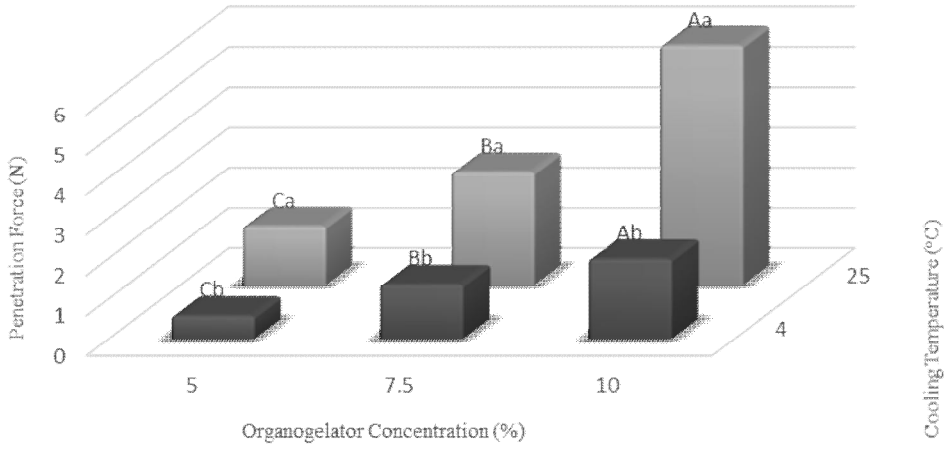


Fig 6 Penetration force of the oleogels produced by different concentrations of ethylcellulose at two cooling temperatures. Different capital letters indicate the significant difference between organogelator concentration and different lowercase letters indicate the significant difference between two cooling temperature (P<0.05).

۳-۳- ارزیابی ویژگی های رئولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رئولوژیکی نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین ویژگی‌های رئولوژیکی اولئوژل‌ها و چربی حیوانی در ناحیه خطی ویسکوالاستیک بود (P<۰/۰۵). همانگونه که در جدول ۱ می‌توان مشاهده نمود بیشترین میزان مدول ذخیره، اتلاف و زاویه فازی مربوط به چربی حیوانی است. بر این اساس، چربی حیوانی بافت ویسکوالاستیک قوی‌تر با الاستیسیته بیشتر نسبت به اولئوژل‌ها از خود نشان می‌دهد. همچنین چربی سردست میزان مدول ذخیره و اتلاف بیشتری نسبت به چربی قلوه‌گاه داشته اما تفاوت معنی‌داری در زاویه فازی آنها وجود ندارد. چربی حیوانی قبل از اعمال نیروی برشی، سوسپانسیون حاصل از تجمع کریستال‌های تری گلیسرید با نقطه ذوب بالا است. این کریستال‌ها در ابتدا در مقابل جریان، مقاومت می‌کنند اما به سرعت تحت تاثیر نیروهای برشی تخریب می‌شوند [۲۲]. به نظر می‌رسد چربی سردست با داشتن اسیدهای چرب اشباع بیشتر و با نقطه ذوب بالاتر، از مدول ذخیره و اتلاف بیشتری در ابتدا برخوردار است اما با اعمال نیروی برشی به سرعت شکسته شده و لذا تفاوتی در زاویه فازی آن با چربی قلوه‌گاه دیده نمی‌شود.

Table 1 Storage modulus, loss modulus and phase angle of the animal fats and the oleogels prepared from bees wax and ethylcelluose in linear viscoelastic region

Organogelator	Concentration (%)	Cooling temperature (°C)	G'	G"	G"/ G'
Bees wax	5	25	$26940.00^{F} \pm 484.04$	$6064.00^{G} \pm 265.61$	$0.22^{D} \pm 00.00$
	7.5	25	$139708.00^{D} \pm 4089.43$	$29929.20^{D} \pm 222.73$	$0.21^{E} \pm 00.00$
	10	25	$139989.00^{D} \pm 769.96$	$27158.90^{E} \pm 523.25$	$0.19^{F} \pm 00.00$
	5	4	$21815.00^{G} \pm 774.87$	$4627.30^{GH} \pm 142.87$	$0.21^{E} \pm 00.00$
	7.5	4	$70733.00^{E} \pm 313.87$	$13068.50^{F} \pm 185.96$	$0.18^{HG} \pm 00.00$
	10	4	$187121.00^{C} \pm 7418.72$	$33538.80^{C} \pm 479.06$	$0.17^{H} \pm 00.00$
Ethylcellulose	5	25	$164.00^{H} \pm 3.56$	$46.40^{J} \pm 1.57$	$0.28^{A} \pm 00.00$
	7.5	25	$487.00^{H} \pm 115.74$	$126.00^{J} \pm 33.98$	$0.25^{BC} \pm 00.00$
	10	25	$13109.00^{HG} \pm 107.24$	$2564.80^{I} \pm 0.27$	$0.19^{F} \pm 00.00$
	5	4	$272.00^{H} \pm 0.79$	$72.30^{J} \pm 1.58$	$0.26^{B} \pm 00.00$
	7.5	4	$312.00^{H} \pm 24.02$	$79.50^{J} \pm 5.20$	$0.25^{C} \pm 00.00$
	10	4	$18544.00^{FG} \pm 144.72$	$3549.80^{IH} \pm 33.88$	$0.19^{FG} \pm 00.00$
Flank fat	-	-	$612385.00^{B} \pm 6738.72$	$85343.30^{B} \pm 108.42$	$0.13^{I} \pm 00.00$
Shank fat	-	-	$769750.00^{A} \pm 20859.65$	$108304.00^{A} \pm 274.23$	$0.14^{I} \pm 00.00$

Different letters indicate significant difference between samples (P<0.05)

نتایج به دست آمده نشان داد غلظت موم زنبورعسل، دمای سرد کردن و اثر متقابل آنها بر مدول ذخیره، اتلاف و زاویه فازی اثر معنی‌دار داشته است (P<۰/۰۵). با افزایش غلظت این ارگانوژلاتور بر میزان مدول الاستیک و ویسکوزیته اولئوژل افزوده می‌شود و در عین حال الاستیسیته نسبی نیز افزایش می‌یابد (جدول ۲). از سوی دیگر، سرد کردن اولئوژل‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد توانست میزان مدول‌های ذخیره و اتلاف را نسبت به دمای ٤ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد اما اثری بر زاویه فازی نداشت. استفاده از دماهای بالاتر برای سرد کردن موجب جهت‌گیری منظم‌تر رشته‌های ارگانوژلاتور شده و میزان ویسکوالاستیسیته را افزایش می‌دهد. درگیری ضعیف‌تر کریستال‌ها در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد، میزان مقاومت در برابر نیروهای برشی را کاهش داده و ژل‌های ضعیف‌تری به وجود می‌آورد. در رابطه با اولئوژل‌های تهیه شده از ارگانوژلاتور اتیل سلولز مشخص گردید که غلظت ارگانوژلاتور، دمای سرد کردن و اثر متقابل آنها بر ویژگی‌های رئولوژیکی ارزیابی شده اثر معنی‌داری داشته است (P<۰/۰۵). اگرچه در اینجا نیز با افزایش غلظت ارگانوژلاتور بر میزان الاستیسیته و ویسکوزیته افزوده شده و الاستیسیته نسبی کاهش می‌یابد اما سرد کردن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان مدول ذخیره و اتلاف را کاهش داد (جدول ۳).

شاید بتوان تفاوت رفتاری اولئوژل‌های موم و اتیل سلولز را در برابر دمای تشکیل ژل به اندازه مولکول‌های آنها نسبت داد. از آنجایی که مولکول‌های موم از اندازه کوچکتری نسبت به رشته‌های طویل پلیمر اتیل سلولز برخوردارند، لذا ارگانوژلاتور موم توانسته است تا با ایجاد نظم در رشته‌های خود، ساختارهای محکم‌تری را در دمای بالاتر و به تبع آن زمان طولانی‌تر سرد کردن به وجود آورد.

Table 2 Storage modulus, loss modulus and phase angle of the bees wax oleogels in linear viscoelastic region

Organogelator	Concentration (%)	Cooling temperature (°C)	G'	G"	G"/ G'
Bees wax	5	25	$26940.00^{F} \pm 484.04$	$6064.00^{G} \pm 265.61$	$0.22^{D} \pm 00.00$
	7.5	25	$139708.00^{D} \pm 4089.43$	$29929.20^{D} \pm 222.73$	$0.21^{E} \pm 00.00$
	10	25	$139989.00^{D} \pm 769.96$	$27158.90^{E} \pm 523.25$	$0.19^{F} \pm 00.00$
	5	4	$21815.00^{G} \pm 774.87$	$4627.30^{GH} \pm 142.87$	$0.21^{E} \pm 00.00$
	7.5	4	$70733.00^{E} \pm 313.87$	$13068.50^{F} \pm 185.96$	$0.18^{HG} \pm 00.00$
	10	4	$187121.00^{C} \pm 7418.72$	$33538.80^{C} \pm 479.06$	$0.17^{H} \pm 00.00$

Different capital letters indicate the significant difference between organogelator concentration and different lowercase letters indicate the significant difference between two cooling temperature (P<0.05).

داویدوویچ-پنهاس (۲۰۱۵) نیز نتایج مشابهی را در رابطه با اولئوژل اتیل سلولز گزارش کردند [۱۷]. از آنجایی که پس از سرد کردن اولئوژل در دماهای پایین‌تر، کریستال‌هایی با اندازه کوچکتر، سطح بیشتر و اندازه منافذ کوچکتر شکل می‌گیرند [۲۸] اولئوژل‌های اتیل سلولز خاصیت ویسکوالاستیسیته بیشتری دارند.

Table 3 Storage modulus, loss modulus and phase angle of the ethylcellulose oleogels in linear viscoelastic region

Organogelator	Concentration (%)	Cooling temperature (°C)	G'	G"	G"/ G'
Ethylcellulose	5	25	$164.00^{H} \pm 3.56$	$46.40^{J} \pm 1.57$	$0.28^{A} \pm 00.00$
	7.5	25	$487.00^{H} \pm 115.74$	$126.00^{J} \pm 33.98$	$0.25^{BC} \pm 00.00$
	10	25	$13109.00^{HG} \pm 107.24$	$2564.80^{I} \pm 0.27$	$0.19^{F} \pm 00.00$
	5	4	$272.00^{H} \pm 0.79$	$72.30^{J} \pm 1.58$	$0.26^{B} \pm 00.00$
	7.5	4	$312.00^{H} \pm 24.02$	$79.50^{J} \pm 5.20$	$0.25^{C} \pm 00.00$
	10	4	$18544.00^{FG} \pm 144.72$	$3549.80^{IH} \pm 33.88$	$0.19^{FG} \pm 00.00$

Different capital letters indicate the significant difference between organogelator concentration and different lowercase letters indicate the significant difference between two cooling temperature (P<0.05).

شکل ۷-الف و ج، مدول ذخیره و اتلاف اولئوژل های موم زنبور عسل را به عنوان تابعی از فرکانس برای کلیه غلظت‌ها و دماهای سرد کردن مورد مطالعه نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل، مقدار ۳ برابری مدول الاستیک نسبت به مدول اتلاف نشان دهنده طبیعت الاستیک اولئوژل موم زنبورعسل نسبت به ویسکوز بودن آن است. همچنین خطی بودن مدول‌های G' و G" نشان دهنده رفتار ژلی این ساختارهاست. از اینرو می‌توان آنها را به عنوان ژل‌های شبه جامد الاستیک تعریف نمود. با افزایش غلظت موم زنبورعسل، میزان مدول ذخیره به میزان قابل توجهی افزایش یافت که بافت سفت‌تر و جامدتر اولئوژل‌های حاصل را نشان می‌دهد. سرعت سرد کردن موجب اختلاف کمی در میزان مدول الاستیک شد و نمونه‌هایی که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرد شده بودند از الاستیسیته بیشتری برخوردار بودند. این نتایج هماهنگ با میزان سفتی حاصل از اکستروژن معکوس و نفوذپذیری نمونه‌های اولئوژل است. این تفاوت در مدول اتلاف هم قابل مشاهده است به طوری که با افزایش غلظت ارگانوژلاتور، میزان G" نیز بیشتر می‌شود اما دمای سرد کردن اثر قابل توجهی بر میزان مدول اتلاف نداشت.

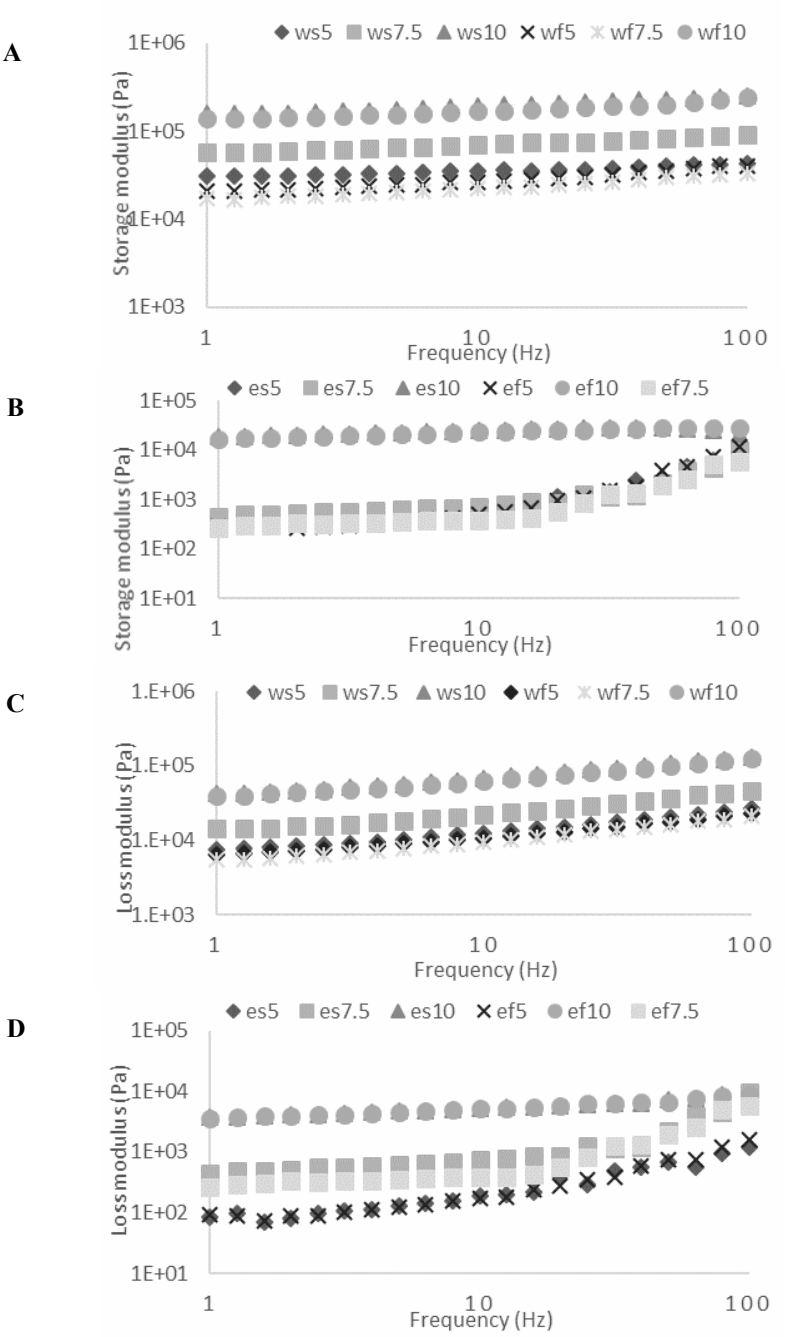
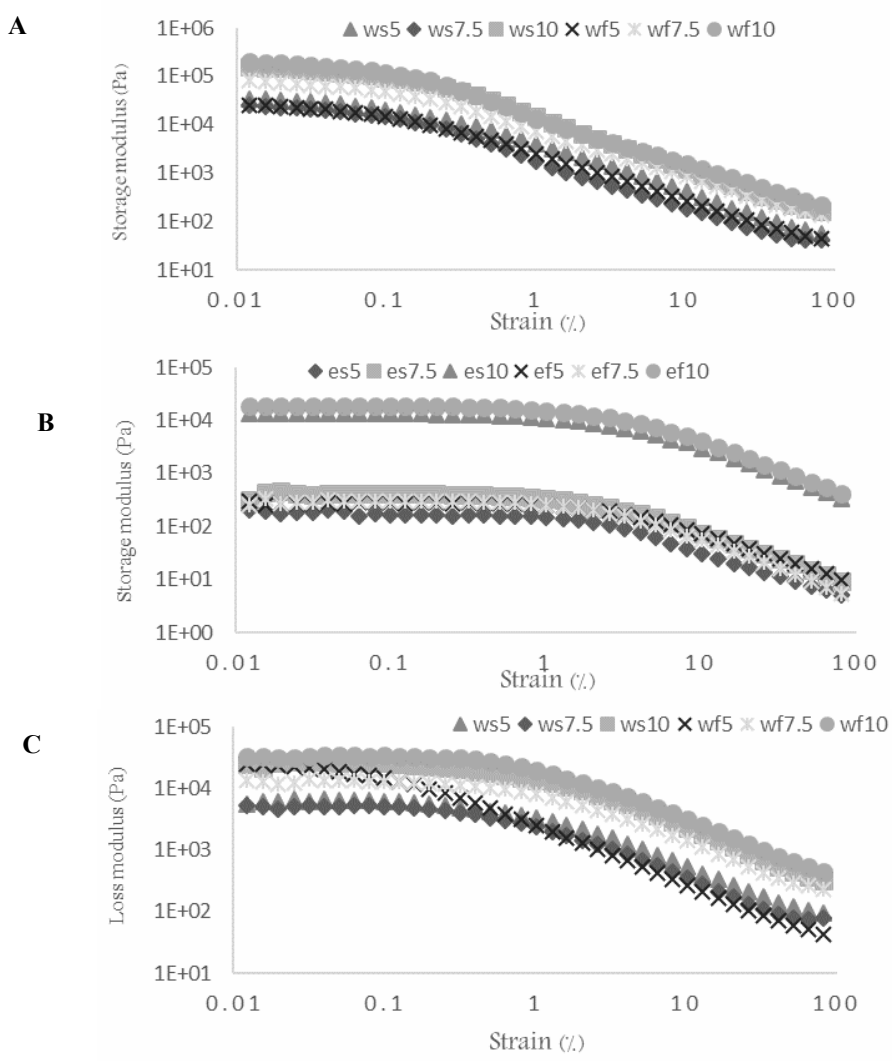


Fig 7 Storage modulus and loss modulus of bees wax and ethylcellulose oleogels as a function of frequency. E: EC oleogel; W: BW oleogel; 5, 7.5, 10: Organogelator concentration; S: Temperature of 25 ºC; F: Temperature of 4 ºC; F1: Flank fat; F2: Shank fat. Different letters indicates significant difference between treatments (P<0.05).

اولئوژل‌های اتیل سلولز نیز روند مشابه با اولئوژل موم زنبور عسل نشان دادند هرچند میزان مدول ذخیره و اتلاف در آن بسیار کمتر از اولئوژل موم زنبور عسل بود که می‌تواند نمایانگر ویسکوالاستیسیته کمتر در این اولئوژل‌ها نسبت به موم باشد. از سوی دیگر، در اولئوژل‌های اتیل سلولز وابستگی به فرکانس بیشتر از اولئوژل‌های تهیه شده از موم زنبور عسل بود به طوری که پس از اعمال فرکانس‌های افزایشی، منحنی‌ها از حالت خطی خارج شدند (شکل ۷- ب و د). این امر نشان‌دهنده طبیعت

الاستیک‌تر اولئوژل‌های موم نسبت به اتیل سلولز است. پاسخ ترکیبات ویسکوالاستیک نسبت به تنش‌های سینوسی مربوط به میزان تحرک مولکول‌ها و نسبت حجمی آنها در نمونه است [۵۳]. همانطور که در شکل ۷- ب و د می‌توان مشاهده نمود، در غلظت‌های ۵ و ۷/۵ درصد اتیل سلولز و در هر دو دمای سرد کردن، میزان مدول اتلاف و ذخیره با افزایش فرکانس بیشتر می‌شود.

ارزیابی میزان مدول ذخیره و اتلاف در برابر تغییرات کرنش نشان داد کلیه اولئوژل‌های تهیه شده، ساختار ژلی قوی داشتند (۰/۱> G''/G'). در اینجا نیز می‌توان مشاهده نمود که غلظت‌های بیشتر ارگانوژلاتور موجب افزایش میزان مدول ذخیره و اتلاف در برابر درصد کرنش به کار رفته می‌شود (شکل ۸). همچنین غلظت‌های بیشتر، ساختارهای بهتری تشکیل می‌دهند زیرا ناحیه خطی ویسکوالاستیک به هنگام استفاده از درصدهای بیشتر کرنش، بزرگتر است. به نظر می‌رسد به هنگام استفاده از غلظت‌های کمتر ارگانوژلاتور به دلیل ساختارهای ضعیف‌تر کریستال‌ها، ژل‌های حاصل توانایی تحمل تنش‌های کمتری را داشته باشند و این امر با مقادیر کمتر مدول‌های ذخیره و اتلاف در ناحیه خطی ویسکوالاستیک ثابت می‌شود.



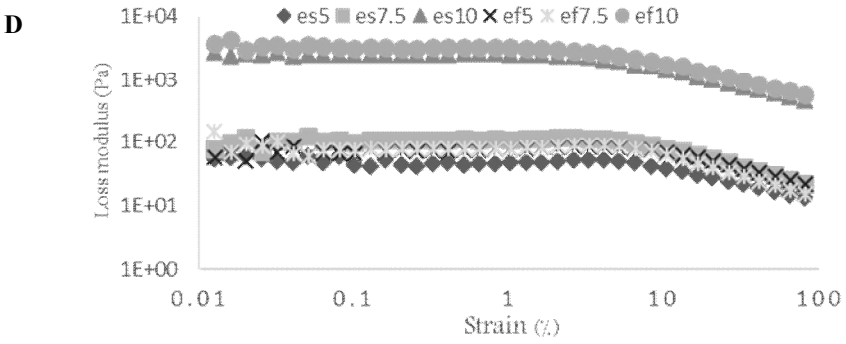


Fig 8 Storage modulus and loss modulus of bees wax and ethylcellulose oleogels as a function of strain. E: EC oleogel; W: BW oleogel; 5, 7.5, 10: Organogelator concentration; S: Temperature of 25 ^{o}C; F: Temperature of 4 ^{o}C; F1: Flank fat; F2: Shank fat. Different letters indicates significant difference between treatments (P<0.05).

٤- نتیجه گیری

با توجه به این که چربی حیوانی بخش عمده‌ای از فرآورده‌های گوشتی را تشکیل می‌دهد، حذف، کاهش یا جایگزینی آن می‌تواند سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای این محصولات گردد اما در عین حال ویژگی‌های فیزیکی و بافتی محصول را تغییر خواهد داد. استفاده از ارگانوژلاتورها می‌تواند با ایجاد بافت در روغن‌های مایع تاحدودی ویژگی های بافتی مورد نظر در مواد غذایی را تامین نماید. هرچند ویژگی های بافتی اولئوژل ها تحت تاثیر عوامل زیادی قرار می گیرند. دمای سرد کردن و غلظت ارگانوژلاتور از جمله مواردی هستند که توانستند بافت و ویژگی‌های رئولوژیکی اولئوژل‌های حاصل را تغییر دهند. اگرچه افزایش غلظت ارگانوژلاتور تاثیر مستقیمی بر افزایش سفتی و الاستیسیته اولئوژل‌های حاصل داشت اما سرعت سرد کردن بسته به نوع ارگانوژلاتور اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های رئولوژیکی اعمال نمود که ناشی از مکانیسم‌های متفاوت تولید ژل دو نوع ارگانوژلاتور به کار رفته می‌باشد. اگرچه اولئوژل‌های تولیدی نتوانستند ویژگی‌های فیزیکی مشابه چربی حیوانی ایجاد کنند اما استفاده از غلظت ۱۰٪ ارگانوژلاتور ویژگی‌های بافتی نزدیکی به چربی حیوانی ایجاد نمود. براین اساس انجام تحقیقات بیشتر برای تولید ویژگی‌های بافتی مشابه چربی حیوانی در اولئوژل‌های تولیدی توصیه می‌گردد.

٥- تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانیم از "صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران" و "دانشگاه صنعتی اصفهان" که ما را در انجام این پروژه یاری نمودند، تشکر نمائیم.

٦- منابع

[1] Fat and Oils in Human Nutrition, Report of a Joint Expert Consultation. 1993. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organizations.
[2] Giese, J. 1996. Fats, oils, and fat replacers. Food Technology. 50: 48-83.
[3] Gravelle, A. J., Davidovich-Pinhas, M., Zetzl, A. K. and Marangoni, A. G. 2016. Influence of solvent quality on the mechanical strength of ethylcellulose oleogels. Carbohydrate Polymers. 135: 169-179.
[4] Rogers, M. A., Wright, A. J., and Marangoni, A. G. 2009. Oil organogels: the fat of the future?. Soft Matter. 5(8): 1594-1596.
[5] Marangoni, A. G. and Garti, N. 2015. Edible oleogels: structure and health implications. Illinois: AOCS Press. 337.
[6] Daniel, J. and Rajasekharan, R. 2003. Organogelation of plant oils and hydrocarbons by long-chain saturated FA, fatty alcohols, wax esters, and dicarboxylic acids. Journal of the American Oil Chemists' Society. 80(5): 417-421.
[7] Patel, A. R. 2015. Alternative Routes to Oil Structuring. New York: Springer. 70.

[8] Marangoni, A. G. 2012. Organogels: an alternative edible oil-structuring method. Journal of the American Oil Chemists' Society. 89(5): 749-780.
[9] Yılmaz, E. and Öğütcü, M. 2014. Comparative analysis of olive oil organogels containing beeswax and sunflower wax with breakfast margarine. Journal of Food Science. 79(9): E1732-E1738.
[10] Yılmaz, E., Öğütcü, M., and Yüceer, Y. K. 2015. Physical Properties, Volatiles Compositions and Sensory Descriptions of the Aromatized Hazelnut Oil□Wax Organogels. Journal of Food Science. 80(9): S2035-S2044.
[11] 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(5): 432-439.
[12] 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.
[13] Gravelle, A. J., Barbut, S., and Marangoni, A. G. 2012. Ethylcellulose oleogels: Manufacturing considerations and effects of oil oxidation. Food Research International. 48(2): 578-583.
[14] Zetzl, A.K., Gravelle, A. J., Kurylowicz, M., Barbut, S., Marangoni, A. G. 2014. Microstructure of ethylcellulose oleogels and its relationship to mechanical properties. Food Structure. 2(1): 27-40.
[15] Martínez, M.A.R.z., et al. 2003. Influence of the concentration of a gelling agent and the type of surfactant on the rheological characteristics of oleogels. II Farmaco. 58(12): 1289-1294.
[16] AOAC. 2000. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC: Arlington, VA.
[17] Davidovich-Pinhas, M., Gravelle, A. J. Barbut, S. Marangoni, A. G. 2015. Temperature effects on the gelation of ethylcellulose oleogels. Food Hydrocolloids. 46: 76-83.
[18]. Zetzl, A. K. 2013. Microstructure and Mechanical Properties of Ethylcellulose Oleogels and their Fat Substitution Potential in the Meat Industry. Ph.D. Dissertation. Department of Food Science, University of Guelf.
[19] Serrano, A., Cofrades, S., and Jiménez-Colmenero, F. 2006. Characteristics of restructured beef steak with different proportions of walnut during frozen storage. Meat Science. 72(1): 108-115.
[20] Martins, A. J., Cerqueira, M. A. Fasolin, L. H. Cunha, R. L. and Vicente, A. A. 2016. Beeswax organogels: Influence of gelator concentration and oil type in the gelation process. Food Research International. 84: 170-179.
[21]. Laredo, T., Barbut, S., and Marangoni, A. G. 2011. Molecular interactions of polymer oleogelation. Soft Matter. 7(6): 2734-2743.
[22] Zetzl, A. K., Marangoni, A. G., and Barbut, S. 2012. Mechanical properties of ethylcellulose oleogels and their potential for saturated fat reduction in frankfurters. Food & Function. 3(3): 327-337.
[23]. Davidovich-Pinhas, M., Barbut, S., and Marangoni, A. 2015. The gelation of oil using ethyl cellulose. Carbohydrate Polymers. 117: 869-878.
[24]. Marangoni, A. G. 2000. Elasticity of high-volume-fraction fractal aggregate networks: A thermodynamic approach. Physical Review B. 62(21): 13951-13955.
[25] Marangoni, A. G. and Rogers, M. A. 2003. Structural basis for the yield stress in plastic disperse systems. Applied Physics Letters. 82(19): 3239-3241.
[26] Abdallah, D. J., Sirchio, S. A., and Weiss, R. G. 2000. Hexatriacontane organogels. The first determination of the conformation and molecular packing of a low-molecular-mass organogelator in its gelled state. Langmuir. 16(20): 7558-7561.
[27] Blake, A. I. and Marangoni, A. G. 2015. Plant wax crystals display platelet-like morphology. Food Structure. 3: 30-34.
[28] Blake, A. I. and Marangoni, A. G. 2015. The use of cooling rate to engineer the microstructure and oil binding capacity of wax crystal networks. Food Biophysics. 10(4): 456-465.

Evaluating the Effect of Cooling Rate and Organogelator Concentration on the Textural Properties of Sesame oil Oleogels and Comparison with Animal Fat

Moghtadaei, M. [1], Soltanizadeh, N. [2*], Hossein Goli, S. A. [3]

1. M.Sc. graduated, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
2. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
3. Associate professor, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

(Received: 2018/06/03 Accepted:2019/05/18)

The aim of present study was to evaluate the effect of organogelator concentrations and cooling rate on textural properties of beeswax and ethylcellulose oleogels to find a similar products with animal fat. For this purpose, oleogels were produced from sesame oil along with ethylcellulose and beeswax organogelator in 5, 7.5 and 10% concentrations. Then, they were cooled at 4 and 25 ^{o}C. The penetration and back extrusion forces of the oleogels were evaluated and compared to flank and shank animal fat. Results indicated that with enhancement of organogelator concentration, the hardness of oleogels increased. The cooling at 4 ^{o}C in comparison with 25 ^{o}C could increase the penetration force of oleogels and decrease the back extrusion force. Rheological properties were also affected by the rate of cooling and organogelator concentration. The comparison of animal fat with oleogels showed that the amounts of loss and storage modulus in animal fat were greater than that of oleogels, and even had a lower phase angle and greater relative elasticity than the oleogels. Although the oleogels did not have the same textural properties as the animal fat, only 10% organogelator-containing oleogels had a back extrusion force similar to that of animal fat.

Keywords: Oleogels, Beeswax, Ethyl cellulose, Rheology

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