**مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران**
**سال هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، صفحات ۸۶-۷۹**

# بررسی تأثیر پارامترهای کریستالیزاسیون بر خواص رئولوژیکی شورتنینگ‌های تولیدشده بر پایه اینتراستریفیکاسیون

مهناز عاملی[۱]، لیلا روفه‌گری نژاد[۲]، عزیز الله زرگران[۳]، فرید زایری[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، ایران

۳- نویسنده مسئول: استادیار گروه سیاستگذاری و برنامه ریزی غذا و تغذیه، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشگاه شهید علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: zargaran@sbmu.ac.ir

۴- استاد مرکز تحقیقات پروتئومیکس، گروه آمار زیستی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۴

## چکیده

**سابقه و هدف:** یکی از چالش‌های صنعت روغن و چربی، تولید شورتنینگ‌هایی با ویژگی‌های عملکردی خاص و مورد نظر صنایع مختلف است. ویژگی‌های رئولوژیک شورتنینگ ها به طور مستقیم با میزان کارایی آن‌ها در ارتباط است، هدف اصلی پژوهش حاضر، مطالعه و بررسی تأثیرات برخی از پارامترهای اصلی کریستالیزسیون بر خواص رئولوژیکی شورتنینگ‌های تولید شده بر پایه اینتراستریفیکاسیون شیمیایی بود.

**مواد و روش‌ها:** ویژگی‌های رئولوژیک نو سانی ۵ تیمار شورتنینگ که در تهیه آنها پارامترهای کریستالیزا سیون متفاوتی به کار گرفته شده بود به د ست آمد. بدین منظور، اثر نرخ سرمایش و شدت ورز دادن که از مهم‌ترین متغیرهای کریستالیزا سیون هستند بر مدول الا ستیک ($G'$) و ویسکوز ($G''$) نمونه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت.

**یافته‌ها:** در آزمون روبش فرکانس و در بازه فرکانس ۱۲۶-۰/۶۲۸ rad/s بیشینه و کمینه مدول الاستیک به ترتیب مربوط به تیمارهای ۴ و ۱ با دماهای خروجی شورتنینگ سرمایش "۳" ۲۸ و ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد ، شدت ورزدادن خمیر "۲" ۱۹۰ و ۲۸۰ دور بر دقیقه و دمای پر کردن ۳۶ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. همین نتایج در مورد مدول افت مشاهده شد.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌های به دست آمده نشان داد به طور مشخص با کاهش سرمایش در مرحله سوم و افزایش شدت ورز دادن و کاهش دمای پر شدن، هر دو مدول، کاهش می‌یابند و باتوجه به داده‌های به دست آمده شرایط مذکور موجب کاهش قدرت ساختاری شورتنینگ‌های تولیدی شد.

**واژگان کلیدی:** رئولوژی، کریستالیزاسیون، مدول الاستیک ($G'$) و مدول ویسکوز ($G''$)

## • مقدمه

شورتنینگ‌ها در حقیقت چربی‌هایی هستند که به نحوی فرموله شده و مورد فرآوری قرار می‌گیرند تا شکلی مانند مواد نیمه پلا ستیک پیدا کنند. امروزه، شورتنینگ‌ها در کاربردهای متعددی مانند پخت، سرخ کردن، محصولات لبنی حاوی چربی‌های گیاهی و... استفاده شده‌اند. رفتار کریستالیزا سیونی و دامنه ذوب متفاوت به معنی ساختار، پایداری و خواص حسی متفاوت است (۴-۱).

شورتنینگ ها معمولاً شامل مخلوطی از روغن ها و چربی‌های غیرهیدروژنه، بخشی هیدروژنه ، امولسیفایرها و سایر افزودنی‌ها هستند. روغن‌های متداول مورد استفاده در تولید شورتنینگ‌ها عبارتند از روغن کانولا، پنبه دانه، پالم و سویا.

همان طور که انتظار می‌رود درک تأثیرات ترکیبات مولکولی، شرایط فرآیندی، افزودنی‌ها و امولسیفایرها بر خواص عملکردی به صورت همزمان کار ساده‌ای نیست (۶، ۵).

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.5.7 ]

روغن‌ها و چربی‌ها به منظور ایجاد تغییرات دلخواه در خواص فیزیکی که خود تابعی از طول اسیدهای چرب، میزان اشباع بودن و چگونگی توزیع آن‌ها در مولکول‌های تری گلیسرید هستند، مورد فرآوری قرار گرفتند (۱۱-۷). چربی‌های گیاهی پلاستیکی تغییر یافته به صورت متداول از ترکیبات کلیدی مارگارین‌ها و سایر چربی‌های تخصصی مانند انواع شورتنینگ‌ها هستند. این نکته که ویژگی‌های جامد گونه چربی‌های شکل‌پذیر به علت وجود شبکه کریستالی چربی است، کاملاً به اثبات رسیده است (۱۲). شورتنینگ‌های قنادی دارای قابلیت ایجاد بافت، تردی و طعم مطلوب در محصولات پخته شده هستند (۱۳). ایجاد بافت مناسب در شورتنینگ‌ها به منظور بهبود خاصیت شکل‌پذیری به طور معمول، توسط فرایندهای کریستالیزاسیون (در آن چربی ذوب شده در حین سرمایش، ورز نیز داده می‌شود) ایجاد می‌شود.

کریستالیزاسیون تحت تنش برشی باعث بهبود خواص شکل‌پذیری و بافتی مخلوط چربی و روغن شده و همچنین موجب می شود گرمای ناشی از کریستالیزاسیون نیز از توده محصول گرفته شود (۱۶-۱۴). از طریق تغییر در شرایط کریستالیزاسیون، ماهیت شبکه کریستالی شامل توزیع فضایی، تعداد، اندازه و شکل عناصر ریزساختار تغییر می‌کند (۱۷). دست یابی به بافت و کارایی مناسب در شورتنینگ‌ها توسط فرایندهای اصلاح مانند هیدروژناسیون، جزء به جزء کردن، مخلوط کردن و اینتراستریفیکاسیون آنزیمی و شیمیایی چربی‌ها و روغن‌ها ایجاد می‌شود (۱۳). در نتیجه هیدروژناسیون اسیدهای چرب در روغن‌های خوراکی، روغن‌های مایع به چربی‌های جامد یا نیمه جامد تبدیل می‌شوند (۱۷).

ارتباط بین پارامترهای فرایند کریستالیزاسیون و ویژگی‌های عملکردی و رئولوژیک چربی‌های ساختار یافته‌ای مانند شورتنینگ‌های قنادی و پخت، یکی از موضوعات مهم و مساله برانگیز در صنعت روغن‌ها و چربی‌ها است. یکی از مهم‌ترین چالشهای موجود در این زمینه، فقدان خطوط پایلوت جهت اعمال متغیرهای کریستالیزاسیون به صورت کنترل شده است و واحدهای صنعتی بسیار اندکی وجود دارند که دارای چنین خطوطی باشند. نکته بسیارمهم در این میان این است که حتی با وجود داشتن خطوط پایلوت، امکان تعمیم نتایج به دست آمده در مطالعات پایلوت، به محصول خروجی از خط تولید با دقت مناسب وجود ندارد. دلیل این امر نیز تغییر شرایط انتقال حرارت و ایجاد برخی حافظه‌های کریستالی در اثر تغییر سایز دستگاه‌ها و تفاوت در برخی فرآیندها است.

رئولوژی شاخه‌ای از علم فیزیک بوده که رفتار شکل‌پذیری و جریان یافتن مواد را توصیف می‌کند. به بیان دیگر، رئومتری عبارت است از فناوری اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی (۱۹-۱۷). ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی شورتنینگ‌ها و مارگارین‌های پخت و قنادی به طور مستقیم جنبه‌های کیفی، ظاهری، حسی و بافتی محصولات پخته شده نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۲۱، ۲۰). بر اساس مطالعه‌ای که میزان کارایی شورتنینگ را به عنوان تابعی از ترکیب مولکولی و تنش برشی بررسی کرده است، رفتار کریستالیزاسیونی و ذوب سیستم‌های شورتنینگ به طور محسوسی وابسته به مقدار تری‌گلیسریدهایی است که شامل اسیدهای چرب خاصی هستند (۵). با عنایت به موارد مذکور، هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر رژیم کریستالیزاسیون بر ویژگی‌های رئولوژیک شورتنینگ بود. در این پژوهش، اثر فاکتورهای نرخ سرمایش، شدت اختلاط و ورز دادن و همچنین دمای پر شدن بر مدول الاستیک ($G'$) و ویسکوز ($G''$) مورد مطالعه قرار گرفت.

## • مواد و روش‌ها

محصول شورتنینگ تجاری چند منظوره به دلیل دامنه کاربرد وسیع و مصرف گسترده به منظور مطالعه در پژوهش حاضر انتخاب شد. در فرمول محصول انتخابی از مخلوط چربی اینتراستریفیه شده به روش شیمیایی استفاده شده بود. روغن‌ها و چربی های مورد استفاده عبارت بودند از کانولا، پالم، اولئین، و آفتابگردان کاملاً هیدروژنه شده. فرمول شورتنینگ مذکور حاوی ۳۳ درصد روغن اینتراستریفیه بود.

به دلیل پاره‌ای از محدودیت‌های فنی، ۵ تیمار انتخاب شد. در تیمارهای انتخابی به منظور پرهیز از افزایش غیر منطقی تعداد آزمایشات، فاکتورهای فرایند کریستالیزاسیون مورد مطالعه به سه مورد اصلی شامل نرخ سرمایش، شدت اختلاط و ورز دادن و همچنین دمای پر شدن محدود شدند.

آرایش کریستالیزاسیون به کار رفته شامل ۴ واحد سرمایش و همچنین ۴ واحد مخصوص ورز دادن مطابق شکل ۱ بود. نمونه‌های شورتنینگ مورد مطالعه توسط کریستالایزر گشتنبرگ (Gerstenberg and Agger) ساخت کشور دانمارک تهیه شدند. سیستم مذکور شامل تانک ذوب، ۴ واحد مستقل سرمایش و واحدهای مخصوص ورز دادن بود. جدول ۱ پارامترهای کریستالیزاسیون تیمارهای به کار گرفته شده را نمایش می‌دهد. دمای مخلوط روغن ورودی به سیستم مذکور ثابت و ۱±۶۵°C در نظر گرفته شد.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.5.7 ]

**جدول ۱.** تیمارهای کریستالیزاسیون

| تیمارهای کریستالیزلسیون | دمای خروجی شورتنینگ سرمایش ۳ (درجه سانتی‌گراد) | شدت ورز دادن خمیر در واحد ۲ (دور بر دقیقه) | دمای پرکردن (درجه سانتی‌گراد) |
|---|---|---|---|
| تیمار ۱ | ۲۹/۵ | ۲۸۰ | ۳۰ |
| تیمار۲ | ۳۱ | ۲۸۰ | ۳۳ |
| تیمار۳ | ۲۹/۵ | ۱۰۰ | ۳۰ |
| تیمار۴ | ۲۸ | ۱۹۰ | ۳۶ |
| تیمار۵ | ۲۸ | ۱۹۰ | ۳۰ |

**شکل ۱.** آرایش واحدهای سرمایش و ورز دادن فرایند کریستالیزاسیون

در مطالعه توصیفی حاضر، داده‌های مربوطه در آزمایشگاه رئولوژی انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور به دست آمد. اندازه‌گیری پارامترهای رئولوژیکی توسط رئومتر Physica MCR 301 (ساخت شرکت Anton-Paar اتریش) انجام شد. کنترل دما توسط سیستم Peltier مجهز به سیرکولاتور سیال انجام شد. آزمون‌های رئولوژیک در دمای متداول کارگاه‌های قنادی یعنی ۲۵°C انجام گرفت.

در مورد همه نمونه‌ها، رئومتر صفحات موازی (PP40/S-SN 16891; d=2 mm) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار رئوپلاس (نسخه ۳/۲۱) شرکت Anton Paar استفاده شد. آزمون‌های روبش کرنش در سرعت زاویه‌ای ۶/۲۸ rad/s در فاصله کرنش‌های بین ۰/۰۰۱ تا ۵۰۰ درصد به منظور یافتن ناحیه خطی ویسکوالاستیک (Lve) اجرا شدند.

به منظور دست‌یابی به نسبت حالت شبه مایع یا شبه جامد نمونه‌ها به حالت جامد مانند آنها، تانژانت افت (loss tangent) که حاصل تقسیم مدول ویسکوز به مدول الاستیک است نیز در محدوده مربوط به ناحیه خطی ویسکوالاستیک محاسبه شد. نقاط مربوط به محل تلاقی منحنی‌های ضرایب الاستیک به ویسکوز ($G''=G'$) نیز تعیین شدند. آزمون‌های روبش فرکانس در محدوده ۰/۰۶۲۸ rad/s تا ۱۲۶ rad/s انجام شد. ضرایب ویسکوز و الاستیک در سه سرعت زاویه‌ای ۰/۰۶۲۸ rad/s، ۳/۳۱ rad/s و ۱۲۶ rad/s به عنوان نماینده فرکانس‌های کمینه، میانی و بیشینه اندازه‌گیری و بررسی شدند.

به منظور مقایسه میانگین ها از آزمون آنالیز واریانس و آزمون تعقیبی دانکن استفاده شد. کلیه تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام شد و مقادیر $P< ۰/۰۵$ معنی‌دار تلقی گردید.

## • یافته‌ها

شکل ۲ رئوگرام‌های آزمون روبش کرنش مربوط به تیمارهای کریستالیزاسیون را نمایش می‌دهد. در ارتباط با ضریب الاستیک، در تمامی منحنی‌ها؛ دو ناحیه متمایز قابل تشخیص بود: یک ناحیه کوچک‌تر که در آن مقادیر مدول الاستیک تقریباً ثابت بود و همچنین ناحیه‌ای بزرگتر که در آن مقادیر مدول مذکور با افزایش درصد کرنش با نرخی فزاینده کاهش یافت.

در کرنش های کمتر، مقادیر مدول الاستیک به نحو محسوسی بزرگتر از مقادیر مدول ویسکوز بود، در حالی که با افزایش درصدهای کرنش، مقادیر مدول ویسکوز در نهایت از مقادیر مدول الاستیک پیشی گرفت. به این علت که در همه موارد، قبل از نقطه تلاقی؛ مقادیر مدول الاستیک بیشتر از مقادیر مدول ویسکوز بود می‌توان نتیجه گرفت در ناحیه خطی ویسکوالاستیک، تمامی نمونه‌های شورتنینگ دارای رفتاری شبه جامد بودند. در حالی که در کرنش‌های بزرگتر، نمونه‌های شورتنینگ مرتبط به تیمارهای کریستالیزسیون، رفتاری شبه مایع داشتند. این نوع رفتار کاملا مورد انتظار بوده و طبیعی به نظر می‌رسد. پارامترهای روبش کرنش مربوط به ۵ تیمار مد نظر در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.5.7 ]

**جدول ۲.** پارامترهای روبش کرنش مربوط به ۵ تیمار کریستالزاسیون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

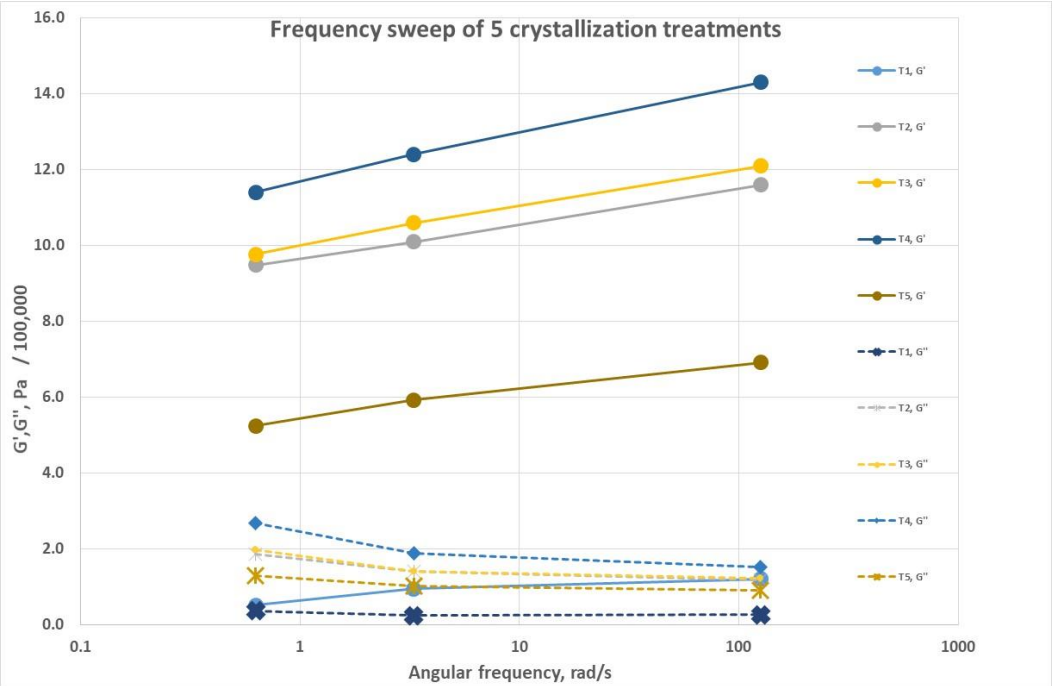
| تیمارهای کریستالیزلسیون | $\gamma_l$ (%) | tan $\delta_{Lve}$ | $G_f$ (Pa) |
|---|---|---|---|
| تیمار ۱ | ۰/۰۵±۰/۰۰۳ $^{c}$ | ۰/۱۰±۰/۰۰۵ $^{bc}$ | ۳۸۰/۲۴±۱۹/۶۳۶ $^{d}$ |
| تیمار۲ | ۰/۰۶±۰/۰۰۳ $^{c}$ | ۰/۰۶±۰/۰۴۸ $^{c}$ | ۲۱۴۸/۱۲±۹۷/۶۱۳ $^{b}$ |
| تیمار۳ | ۰/۲۹±۰/۰۱۸ $^{a}$ | ۰/۱۸±۰/۰۱۳ $^{a}$ | ۱۱۳۴/۵۸±۷۶/۷۹۲ $^{c}$ |
| تیمار۴ | ۰/۱۰±۰/۰۰۳ $^{b}$ | ۰/۱۳±۰/۰۰۶ $^{bc}$ | ۲۱۳۸/۹۸±۶۷۷/۳۴۵ $^{b}$ |
| تیمار۵ | ۰/۰۶±۰/۰۰۲ $^{c}$ | ۰/۱۲±۰/۰۰۶ $^{b}$ | ۲۸۰۵/۳۹±۱۳۸/۰۰۴ $^{a}$ |

(انحراف استاندارد± میانگین مقدار اندازه‌گیری شده، مقادیر مشخص شده با حروف متفاوت دارای اختلاف آماری معنی دار هستند، P<۰/۰۵)

آزمایشات رئولوژیکی در دمای ذکر شده انجام شدند، شامل ناحیه ویسکوالاستیک خطی یا Lve ($\gamma_l$ ٪)، فاکتور افت در انتهای ناحیه خطی ویسکوالاستیک (tan $\delta_{Lve}$) و نقاط تلاقی یا $G_f$ به پاسکال ($G''=G'$)

بیشینه فاکتور افت در پایان ناحیه ویسکوالاستیک (tan $\delta_{Lve}$) که توصیف‌کننده نسبت مدول‌های رئولوژیک مذکور است (نسبت مدول ویسکوز به الاستیک) در تیمار کریستالیزاسیونی شماره ۳ مشاهده شد. در مقابل، تیمار کریستالیزاسیونی شماره ۲ منجر به بروز کمترین مقدار فاکتور افت (tan $\delta_{Lve}$) شد. همین طور، کمینه و بیشینه مدول الاستیک و ویسکوز مربوط به نقاط تلاقی در تیمارهای شماره ۱ و ۳ دیده شد. در نهایت، بیشترین مقدار دامنه ناحیه ویسکوالاستیک در نتیجه تیمار کریستالیزاسیونی را شماره ۳ ایجاد گردید.

با توجه به نتایج روبش کرنش، آزمون‌های روبش فرکانس نیز انجام شد که طیف‌های مربوطه در شکل ۳ نمایش داده شده است. در جدول ۳ ضرایب ویسکوز و الاستیک مربوط به ۵ تیمار کریستالیزاسیون مربوطه در سه سرعت زاویه‌ای rad/s ۰/۰۶۲۸، rad/s ۳/۳۱ و rad/s ۱۲۶ ارائه شده است. بیشینه و کمینه ضریب الاستیک به ترتیب مربوط به تیمارهای ۴ (rad/s ۱۲۶) و ۱ (rad/s ۰/۰۶۲۸) بود. به طور مشابه، بیشترین و کمترین مقادیر ضریب ویسکوز به ترتیب در نتیجه تیمارهای کریستالیزاسیون ۴ (rad/s ۰/۰۶۲۸) و ۱ (rad/s ۳/۳۱) حاصل شد. در مورد فاکتور افت، تیمار کریستالیزاسیون شماره ۱ منجر به ایجاد بیشترین مقدار در سرعت زاویه‌ای rad/s ۰/۰۶۲۸ شد.




**شکل ۳.** رئوگرام روبش فرکانس ۵ تیمار کریستالیزاسیون

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.5.7 ]

**جدول ۳.** پارامترهای روبش فرکانس در ۵ تیمار کریستالیزاسیون

| تیمارهای کریستالیزلسیون | مدول الاستیک G' (Pa)/100000 | | | مدول ویسکوز G" (Pa)/100000 | | | فاکتور افت G"/'G, tan □ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ω=۱۲۶ | ω=۳/۳۱ | ω=۰/۰۶۲۸ | ω=۱۲۶ | ω=۳/۳۱ | ω=۰/۰۶۲۸ | ω=۱۲۶ | ω=۳/۳۱ | ω=۰/۰۶۲۸ |
| تیمار ۱ | ۱/۲±۰/۰۳$^{d}$ | ۰/۹±۰/۲۶$^{e}$ | ۰/۵±۰/۱۱$^{d}$ | ۰/۳±۰/۰۱$^{d}$ | ۰/۲±۰/۰۱$^{d}$ | ۰/۴±۰/۰۱$^{d}$ | ۰/۲±۰/۰۶$^{a}$ | ۰/۳±۰/۰۱$^{a}$ | ۰/۶±۰/۱۹$^{a}$ |
| تیمار۲ | ۱۱/۸±۰/۳۳$^{b}$ | ۱۰/۳±۰/۲۹$^{c}$ | ۹/۶±۰/۲۲$^{b}$ | ۱/۲±۰/۰۳$^{b}$ | ۱/۴±۰/۰۶$^{b}$ | ۱/۹±۰/۰۹$^{b}$ | ۰/۱±۰/۰۳$^{b}$ | ۰/۱±۰/۰۳$^{c}$ | ۰/۲±۰/۰۱$^{b}$ |
| تیمار۳ | ۱۲/۳±۰/۳۵$^{b}$ | ۱۰/۸±۰/۳۱$^{b}$ | ۹/۹±۰/۲۳$^{b}$ | ۱/۲±۰/۰۳$^{b}$ | ۱/۴±۰/۰۴$^{b}$ | ۲/۰±۰/۰۶$^{b}$ | ۰/۱±۰/۰۳$^{b}$ | ۰/۱±۰/۰۵$^{c}$ | ۰/۲±۰/۰۶$^{b}$ |
| تیمار۴ | ۱۴/۵±۰/۴۱$^{a}$ | ۱۲/۶±۰/۳۶$^{a}$ | ۱۱/۵±۰/۲۶$^{a}$ | ۱/۵±۰/۰۶$^{a}$ | ۱/۹±۰/۰۵$^{a}$ | ۲/۴±۰/۳۹$^{a}$ | ۰/۱±۰/۰۳$^{b}$ | ۰/۲±۰/۰۲$^{b}$ | ۰/۲±۰/۰۶$^{b}$ |
| تیمار۵ | ۶/۰±۱/۵۳$^{c}$ | ۶/۰±۰/۱۷$^{d}$ | ۵/۳±۰/۱۲$^{c}$ | ۰/۹±۰/۰۳$^{c}$ | ۱/۰±۰/۰۳$^{c}$ | ۱/۳±۰/۰۴$^{c}$ | ۰/۱±۰/۰۱$^{b}$ | ۰/۲±۰/۰۱$^{b}$ | ۰/۲±۰/۰۴$^{b}$ |

(انحراف استاندارد± میانگین مقدار اندازه‌گیری شده، مقادیر مشخص شده با حروف متفاوت دارای اختلاف آماری معنی دار هستند، P<۰/۰۵)

ضرایب الاستیک (G′, Pa) و ویسکوز (G″,Pa) هر تیمار در سه سرعت زاویه‌ای پایین (۰/۰۶۲۸ rad/s)، میانه (۳/۳۱ rad/s) و بالا (۱۲۶ rad/s) مورد اندازه گیری قرار شد.

## • بحث

در پژوهش حاضر، متغیر دمای خروجی شورتنینگ درسرمایش ۳ و دمای پرکردن شورتنینگ در بسته بندی، ماهیتی از جنس دما داشتند. متغیر دیگر، یعنی شدت ورز دادن خمیر در واحد ۲ مربوط به فرایند ورز دادن ماهیتی از جنس کار مکانیکی داشت. توجه به این نکته ضروری است که در مرحله ورز دادن فرایندهای تولید شورتنینگ‌ها و مارگارین‌ها، به دلیل ماهیت مکانیکی فرایند و اعمال انرژی و همچنین به دلیل ادامه و پیشرفت کریستالیزاسیون که واکنشی گرمازاست، دمای شورتنینگ تا چند درجه سانتی‌گراد افزایش می یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ۳ پارامتر کریستالیزاسیون مورد بررسی دارای اثرات متقابل بر یکدیگر هستند.

با مقایسه مقادیر ۳ فاکتور کریستالیزاسیون و نتایج مربوط به مدول‌های رئولوژیک الاستیک و ویسکوز مشاهده می شود پارامترهای مربوط به تیمار ۱ منجر به کمترین مقادیر مدول های مد نظر شد. در مقابل مقادیر پارامتر های کریستالیزاسیون تیمارهای ۳ و ۴ منجر به مقادیر بیشینه هر دو مدول مورد مطالعه گردید. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت شدت‌های سرمایش کمتر در مرحله سوم سرمایش، و ورز دادن با شدت‌های بالاتر و دماهای پر شدن پایین‌تر به معنی حصول به مقادیر کمینه مدول‌های الاستیک و ویسکوز بوده است. لازم به ذکر است معنی‌داری اختلاف میانگین‌های ارائه شده در جدول مشخص شده است.

در بررسی اثر تغییر فرآیند یا فرمولاسیون بر بررسی ویژگی‌های رئولوژیک محصولات غذایی می توان از آزمون‌های مختلف در محدوده های مختلف دمایی استفاده نمود. این موضوع در برخی محصولات مانند شورتنینگ ها که خود محصول نهایی نیستند و به عنوان ماده اولیه تولید محصولات دیگر استفاده می شوند، کمی پیچیده تر خواهد بود. با توجه به تجربیات نویسندگان مقاله در مطالعات پیشین در حوزه انتخاب آزمون‌های رئولوژی مناسب ویژه شورتنینگ‌های مدل تولید شده در محیط‌های آزمایشگاهی، نتایج مطالعه حاضر نشان داد استفاده از آزمون‌های رئولوژی نوسانی که می توانند مولفه‌های ویسکوز و الاستیک یک شورتنینگ تولید شده در خط تولید را به تفکیک بیان کنند به خوبی می توانند تفاوت‌های ایجاد شده در تغییرات ترکیبی دما-ورز دادن را در فرآیند تولید شورتنینگ ها بیان کنند.

یکی از مهم ترین معضلات تولید کنندگان شورتنینگ ها، ترجمه نیاز های مصرف کنندگان از ویژگی های بافتی شورتنینگ ها و انتظارات عملکردی آنها است. از سوی دیگر، در بسیاری از واحدهای تولید کننده شورتنینگ، روش‌های آزمایشگاهی مناسب و به ویژه استفاده از رئومتر مرسوم نیست و عموماً آزمایشات تجربی با قابلیت تکرارپذیری بسیار پایین به منظور ارزیابی بافت محصول نهایی انجام می گیرد. لذا با تفکیک این ویژگی ها به دومولفه ویسکوز که نمادی از فاز مایع و مؤلفه الاستیک که نمادی از فاز جامد در محصول است در آزمون های روبش کرنش و روبش فرکانس، می توان در گام اول، با دقت بیشتری به نیازهای خاص صنایع مختلف مصرف کننده شورتنینگ پاسخ داد و در گام دوم نیز می توان با بهینه سازی فرآیندهای تولید، کیفیت مورد نظر را با کارایی، قیمت و مواد اولیه مناسب در اختیار مصرف کنندگان قرار داد. همچنین با توجه به گستره مورد استفاده از شورتنینگ ها در محصولات غذایی در ایران که از یک سو در تولید محصولی مانند خامه قنادی شیرین شده (مینارین) و از سوی دیگر در محصولات دارای پخت مانند انواع کیک، کلوچه و بیسکویت استفاده می شوند، تأثیر مهم دما در عملکرد نهایی شورتنینگ ها در محصولات قابل اشاره با استفاده از ترکیب آزمون‌های انجام

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.5.7 ]

شـــده در این پژوهش و همچنین آزمون های رمپ دمایی با توجه به کارکرد نهایی شورتنینگ، قابل مشاهده خواهد بود و با تفکیک مولفه‌های ویسکوز و الاستیک به دست آمده، پایش دقیق، علمی و تکرار پذیر ویژگی های بافتی شـــورتنینگ و محصول نهایی امکان پذیر خواهد بود.

یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضـــر که خود بخشـــی از انگیزه انجام این پژوهش بود، فقدان مطالعات در حوزه تغییر در متغیرهای کریستالیزاسیون و بررسی اثر آن بر ویژگی‌های شورتنینگ‌ها بود. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد بیشتر مطالعات مشابه متمرکز بر تأثیر دمای نگهداری یا سرمایش بر رفتار کریستالزیاسیونی چربی‌های مشتق از شیر است و بنا بر جســـتجوهای انجام شـــده، مطالعه خاصـــی در زمینه بررســـی فاکتورهای کریســـتالیزاســـیون بر خواص کاربردی و رئولوژیکی شورتنینگ‌ها و مارگارین‌ها یافت نشد.

John Foley و همکاران در تحقیقی در ســـال ۱۹۸۴ به بررسی تأثیر دمای سرمایش به رفتار کریستالیزاسیونی چربی شیر پرداختند. در این مطالعه نشان داده شد که چربی شیر در دماهای بالای ۴۰ درجه ســـانتی‌گراد دارای رفتار رئولوژیکی مشابه مایعات بود. نکته جالب اینکه در در دماهای کمتر از ۴۰ درجه ســـانتی‌گراد، چربی شـــیر دارای رفتار رئولوژیکی مشـــابه چربی‌های پلاســـتیک بود. با توجه به اینکه در تحقیق حاضـــر دماهای پرکردن بالاتر یعنی ۳۶ درجه ســـانتی‌گراد ، مدول الاســـتیک دارای مقادیر بالاتری اســـت، می‌توان نتیجه گرفت نتایج تحقیق مذکور و فعلی به نوعی هم راستا هستند (۲۲).

منحنی‌های روبش کرنش مربوط به پارامترهای رئولوژیکی از جمله مدول‌های الاستیک و ویسکوز($G'$ و $G''$)، زاویه تغییر شیفت ($\delta$) شورتنینگ چند منظوره که در دو حالت (با و بدون استفاده از امواج فراصوت) کریستاله شده بودند در مطالعه‌ای مشـــابه توســـط Juhee Lee و همکاران در ســـال ۲۰۲۰ مورد مطالعه قرار گرفت که در برگیرنده پروفایل های $G'$ و $G''$ مشابهی بعد از ۶۰ دقیقه فرایند کریستالیزاسیون و نگهداری در دمای ۲۵°C بود (۲۳). رفتار مشـــابه پروفایل‌های $G'$ و $G''$ مطابق با نتایج تحقیق فعلی است.

Bell و همکاران در ســـال ۲۰۰۵ در پژوهشـــی دیگر اعلام نمودند که هنگام کریســـتالیزاســـیون، چربی‌ها از حالت جامد ویسکوالاستیک ضعیف به حالت مایع ویسکوالاستیک ضعیف تبدیل می‌شـــوند. در پژوهش مذکور، به نظر می‌رســـید که در ابتدا ویژگی های رئولوژیک، تحت تأثیر تعداد محدودی کریستال‌های بزرگ بود ولی در اثر ادامه ورز دادن و اختلاط به دلیل ماهیت لغزندگی بین کریســـتال‌ها، رفتار شـــبیه مایع ویسکوالاستیک ضعیف حاصل شد (۲۴). در تحقیق حاضر نیز با افزایش فرکانس رفتار رئولوژیکی نمونه‌های شورتنینگ مورد بررســـی از حالت جامد ویســـکوالاســـتیک به حالتی مایع گونه تغییر یافت.

Stapley و همکاران در ســـال ۱۹۹۹ به بررســـی تأثیرات فاکتورهای دما و تنش برشـــی در خواص کریســـتالیزاســـیونی شـــکلات پرداختند. مشـــابه تحقیق جاری نشـــان داده شـــد که ســـوابق تنش برشـــی و دما هنگام جامد ســـازی شـــکلات دارای تأثیرات بسیار محسوسی در ساختار کریستالیزاسیونی، پلی مورفیسم و بافت محصول نهایی دارد (۲۵). به همین دلیل در تحقیق جاری، به طور خاص تأثیر شـــرایط و پارامترهای اصـــلی کریســـتالیزاســـیون بر یکی از خواص مرتبط با ویژگی های عملکردی یعنی خواص رئولوژیکی به عنوان هدف اصلی انتخاب شـــده اســـت. در این بررســـی نشـــان داده شـــدکه مدول‌های رئولوژیکی الاستیک ($G'$) و ویسکوز ($G''$) مربوط به یک ترکیب ثابت روغن و چربی به نحو قابل ملاحظه‌ای در اثر تغییر پارامترهای کریســـتالیزاســـیون تحت تأثیر قرار می‌گیرند. هر دو مدول مذکور با اینکه دارای مفاهیم رئولوژیکی متفاوتی هستند به صورتی کاملا مشابه در اثر اعمال تغییرات در شرایط اصلی کریستالیزاسیون تغییر کردند. این نکته که در تمام تیمارهای کریســـتالیزاســـیون ترکیب مخلوط چربی‌هـا و روغن‌هـا (فرمولاسیون) مورد استفاده تغییر نکرده است، نشان دهنده اهمیت و جایگاه آرایش و پارامترهای فرایند کریســـتالیزاســـیون در حصـــول به خواص کاربردی و رئولوژیکی دلخواه و مطلوب اســـت. درک بهتر و شـــفاف‌تر رابطـه بین پـارامترهـای کریســـتالیزاســـیون و فاکتورهای رئولوژیک (از جمله مدول‌های الاستیک و ویسکوز) اقدامی تأثیر گذار در راستای دستیابی به دانش و مهارت مورد نیاز به منظور تولید شورتنینگ‌هایی است که در کاربردهای مربوطه دارای عملکرد مورد انتظار باشند.

بر اســـاس روش متداول در کارخانجات تولیدکننده محصـــولات شـــورتنینگ و مارگارین اســـتفاده از نتایج مطالعات رئولوژیک باتوجه به نوع خاص تولید و همچنین ویژگی های محصولات نهایی که شورتنینگ ها در آن ها استفاده می شوند، از اهمیت بالایی برخوردار اســـت. با توجه به گســـتردگی فاکتورهای مختلف در مطالعات رئولوژیک و همچنین امکان انجام آزمون های متفاوت رئولوژیک، کشـــف نحوه ارتباط این فاکتورها با خواص عملکردی شـــورتنینگ‌ها و مارگارین‌ها از جمله میزان استحکام بافت، شکل‌پذیری(پلاستیسیته)، میزان چســـبندگی و یکنواختی بـافـت و همچنین تـاثیر آن بر ویژگی های کیفی محصـــول نهایی حاوی شـــورتنینگ مانند

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.5.7 ]

محصـــولات قنادی می تواند زمینه ســـاز تولید محصـــولات با کیفیت ثابت شـــود. مطالعات بیشـــتری در این زمینه از جمله ترکیب داده‌های ارزیابی حسی، رئولوژی و کریستال مورفولوژی به منظور تعیین دقیق پارامترهای دخیل در ویژگی‌های بافتی شورتنینگ ها و اثرگذاری ترکیبی آنها مورد نیاز است.

**سپاسگزاری**

بدین وسیله از حمایت‌های شرکت مارگارین در فراهم آوردن امکان انجام این پژوهش قدردانی می‌گردد.

## References

1. Ghotra BS, Dyal SD, Narine SS. Lipid shortenings: A review. Food Res Int. 2002;35(10):1015–48.
2. Tourchi Rudsari M, Najafian L, Shahidi SA. Effect of chemical interesterification on the physicochemical characteristics of bakery shortening produced from palm stearin and Ardeh oil (Sesamum indicum) blends. J Food Process Preserv. 2019;43(10):1–14.
3. Richard DO. Fats & Oils: Formulating and Processing for Applications. 2009. 680 p.
4. Nguyen V, Rimaux T, Truong V, Dewettinck K, Van Bockstaele F. Granular Crystals in Palm Oil Based Shortening/Margarine: A Review. Cryst Growth Des. 2020;20(2):1363–72.
5. Humphrey KL, Narine SS. A comparison of lipid shortening functionality as a function of molecular ensemble and shear: Crystallization and melting. Food Res Int. 2004;37(1):11–27.
6. Shahidi F. Bailey's Industrial Oil and Fat Products [Internet]. Shahidi F, editor. Vols. 1–6, Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Wiley; 2005. 1–3686 p. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/047167849X
7. Bariwere Samuel C, Joy E-E, David Barine K-K. Effect of Chemical Interesterification on the Physicochemical Characteristics and Fatty Acid Profile of Bakery Shortening Produced from Shea Butter and Fluted Pumpkin Seed Oil Blend. Am J Food Sci Technol. 2018;6(4):187–94.
8. Gioielli, L.A., Silva, R.C., Soares, F.A.S.M., Silva, K.G. and G. Structured lipids obtained by chemical interesterification of olive oil and palm stearin. LWT-Food Sci Technol. 2010;752–8.
9. Humphrey KL, Moquin PHL, Narine SS. Phase Behavior of a Binary Lipid Shortening System: From Molecules to Rheology. JAOCS, J Am Oil Chem Soc. 2003;80(12):1175–82.
10. R.J. HAMILTON. Developments in Oils and Fats. Developments in Oils and Fats. 1995.
11. List GR, King JW. Hydrogenation of Fats and Oils: Theory and Practice: Second Edition. Hydrogenation of Fats and Oils: Theory and Practice: Second Edition. 2010.
12. Nguyen V, Rimaux T, Truong V, Dewettinck K, Van Bockstaele F. The effect of cooling on crystallization and physico-chemical properties of puff pastry shortening made of palm oil and anhydrous milk fat blends. J Food Eng [Internet]. 2021;291(May 2020):110245. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110245
13. Saghafi Z, Naeli MH, Tabibiazar M, Zargaraan A. Zero-Trans Cake Shortening: Formulation and Characterization of Physicochemical, Rheological, and Textural Properties. JAOCS, J Am Oil Chem Soc. 2018;95(2):171–83.
14. Ahmadi L, Marangoni AG. Functionality and physical properties of interesterified high oleic shortening structured with stearic acid. Food Chem [Internet]. 2009;117(4):668–73. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.072
15. Erickson DR. Edible fats and oils processing: basic principles and modern practices: World Conference Proceedings. The American Oil Chemists Society; 1990.
16. Sato K, Bayés-García L, Calvet T, Cuevas-Diarte MÀ, Ueno S. External factors affecting polymorphic crystallization of lipids. Eur J Lipid Sci Technol. 2013;115(11):1224–38.
17. Litwinenko JW, Rojas AM, Gerschenson LN, Marangoni AG. Relationship Between Crystallization Behavior, Microstructure, and Mechanical Properties in a Palm Oil-Based Shortening. JAOCS, J Am Oil Chem Soc. 2002;79:647–54.
18. Paar A. Basic of rheology [Internet]. Anton Paar. 2020. Available from: https://wiki.anton-paar.com/en/basics-of-rheology/
19. Basics. Basic of Rheology [Internet]. Anton Paar. Available from: https://wiki.anton-paar.com/en/basics-of-rheology/
20. Saghafi Z, Naeli MH, Tabibiazar M, Zargaraan A. Modeling the Rheological Behavior of Chemically Interesterified Blends of Palm Stearin/Canola Oil as a Function of Physicochemical Properties. JAOCS, J Am Oil Chem Soc. 2019;96(11):1219–34.
21. Simovic DS, Pajin B, Seres Z, Filipovic N. Effect of low-trans margarine on physicochemical and sensory properties of puff pastry. Int J Food Sci Technol. 2009;44(6):1235–44.
22. Foley J, Brady JP. Temperature-induced effects on crystallization behaviour, solid fat content and the firmness values of milk fat. J Dairy Res. 1984;51(4):579–89.
23. Lee J, Marsh M, Martini S. Effect of storage time on physical properties of sonocrystallized all-purpose shortening. J Food Sci. 2020;85(10):3391–9.
24. Bell A, Gordon MH, Jirasubkunakorn W, Smith KW. Effects of composition on fat rheology and crystallisation. Food Chem. 2007;101(2):799–805.
25. Stapley AGF, Tewkesbury H, Fryer PJ. Effects of shear and temperature history on the crystallization of chocolate. JAOCS, J Am Oil Chem Soc. 1999;76(6):677–85.

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-08 ]
[ DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.5.7 ]

# Effects of Crystallization Parameters on Rheological Properties of Inter-esterified Based Shortenings

*Ameli M[1], Roufegarinejad L[2], Zargaraan A[3*], Zayeri F[4]*

1- *Ph.D. Student, Department of Food Science and Technology, Tabriz branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran*

2- *Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Tabriz branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran*

3- **Corresponding author: Assistant Professor, Department of Food and Nutrition Policy and Planning Research, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran, Email: zargaran@sbmu.ac.ir*

4- *Professor, Proteomics Research Center and Department of Biostatistics, Faculty of Allied Medical Sciences, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

**Received 10 Oct, 2021** **Accepted 24 Jan, 2022**

**Background and Objectives:** One of the challenges in edible oils and fat industries is the production of shortenings with special functional properties for various industries. Rheological properties of shortenings are directly linked to their functionality. The major objective of this study was to investigate effects of crystallization parameters on rheological properties of inter-esterified based shortenings.

**Materials & Methods:** Steady state and oscillatory shear parameters of five shortening treatments with various crystallization parameters were collected. Effects of cooling rate and kneading intensity on storage modulus (G′) and loss modulus (G″) were studied.

**Results:** In frequency sweep assay within the frequency range of 0.628–126 rad/s, the maximum and the minimum of elastic moduli were respectively seen in Treatments 1 and 4 with cooling exit temperatures (3) of 28 and 29.5 ◦C, kneading rates (2) of 190 and 280 rpm and filling temperatures of 36 and 30 ◦C. Similar results were achieved for loss moduli.

**Conclusion:** Results showed significant decreases in the two moduli with decreasing temperature in third phase, increasing kneading intensity and decreasing filling temperature.

**Keywords:** Rheology, Crystallization, Shortening, Storage modulus (G′), Loss modulus (G″)

[ Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-05-08 ]

[ DOR: 20.1001.1.17357756.1401.17.2.5.7 ]