



## بررسی تأثیر کمپلکس سه گانه آمیلوز-اسید استتاریک-ایزوله پروتئین آب پنیر بر خصوصیات

### رئولوژیکی، حسی و پایداری سس مایونز کم چرب

فائزه کرمی<sup>۱</sup>، مهران اعلمی<sup>۱\*</sup>، مصطفی کرمی<sup>۲</sup>، هدی شهری طبرستانی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۲</sup> دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

#### چکیده

#### اطلاعات مقاله

#### تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

#### کلمات کلیدی:

اسید استتاریک،

آمیلوز ذرت،

ایزوله پروتئین آب پنیر،

ویسکوزیته،

سس مایونز کم کالری

DOI:10.48311/fsct.2025.83892.0.

\* مسئول مکاتبات:

mehranalami@gmail.com

به دلیل کالری بالای چربی در سس مایونز، یافتن جایگزین برای این چربی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش آمیلوز از نشاسته ذرت خام استخراج و با ایزوله پروتئین آب پنیر (۳٪ وزنی/وزنی) و اسید استتاریک (۵٪ وزنی/وزنی) در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۶۰ دقیقه کمپلکس سه تایی تشکیل شد. این کمپلکس در چهار غلظت مختلف ۰، ۳، ۵ و ۷ درصد (وزنی/وزنی) به فرمولاسیون سس مایونز اضافه شد. نتایج آزمون‌های رئولوژیکی نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش در تمامی نمونه‌ها بود. با افزایش میزان کمپلکس از ۰ به ۷ درصد ویسکوزیته کاهش یافت. در تمام نمونه‌ها مدول ذخیره ( $G'$ ) بیشتر از مدول ویسکوز ( $G''$ ) بود و نمونه‌ها به عنوان مواد ویسکوالاستیک جامد طبقه بندی شدند. بیشترین پایداری در برابر دوفاز شدن (۸۸٪) به نمونه فاقد کمپلکس و کمترین پایداری (۷۸/۷۵٪) به نمونه به نمونه حاوی ۷٪ کمپلکس سه گانه اختصاص داشت. از نظر خصوصیات حسی نمونه حاوی ۵٪ وزنی/وزنی کمپلکس سه گانه بالاترین مطلوبیت را داشت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از ۵۰٪ وزنی/وزنی کمپلکس سه گانه برای تولید سس مایونز کم چرب با ویژگی‌های تکنولوژیکی و حسی مطلوب پیشنهاد می‌شود.

## ۱-مقدمه

افزایش آگاهی نسبت به خطرات سلامتی ناشی از مصرف بیش از حد چربی باعث شده است که صنعت غذا به سمت توسعه محصولات کم چرب حرکت کند. با این حال، چربی نقش مهمی در ایجاد بافت، طعم و عطر منحصر به فرد در غذاها ایفا می کند و تکرار این ویژگی های حسی در محصولات کم چرب چالشی بزرگ است که اغلب موجب می شود این محصولات نتوانند انتظارات مصرف کنندگان را برآورده کنند. برای رفع این مشکل، از جایگزین های چربی استفاده می شود که قادر به حفظ خصوصیات حسی مطلوب هستند. این جایگزین ها می توانند مقبولیت محصولات کم چرب را افزایش داده و به ایجاد رژیم غذایی متعادل تر و سلامت بیشتر کمک کنند [۱، ۲].

مایونز به عنوان یک امولسیون نیمه جامد و پرچرب روغن در آب شناخته می شود که به طور معمول حاوی ۷۰ تا ۸۰ درصد چربی است. تولید و ویژگی های کیفی امولسیون های کم کالری مایونز در سطوح مختلف کاهش چربی به طور گسترده ای مورد بررسی قرار گرفته است، اما چالش حفظ خصوصیات حسی مطلوب در این صنعت همچنان باقی است [۲، ۳]. در فرمولاسیون امولسیون های کم چرب، محققان از ترکیباتی مانند نشاسته ها، صمغ ها و پروتئین ها برای جایگزینی ویژگی هایی که با حذف چربی از دست می روند، استفاده می کنند. یافتن جایگزینی که بتواند نقش چند جانبه چربی را در امولسیون های غذایی تقلید کند، همچنان یک چالش برای صنعت غذا است و تحقیقات در این زمینه ادامه دارد. نشاسته های اصلاح شده که به طور شیمیایی تغییر یافته اند تا عملکردشان بهبود یابد، از جمله جایگزین های محبوب چربی هستند [۴].

در تحقیقات مرتبط، مایونز کم چرب با استفاده از ایزوله پروتئین آب پنیر و پکتین با متوکسیل پایین و نشاسته اصلاح

شده، فرموله شده است. همچنین، جایگزینی بخشی از روغن با نشاسته ژلاتینه برنج و صمغ زانتان در کاهش چربی و بررسی خواص رئولوژیکی موثر بوده است. امولسیون های مایونز کم چرب با جایگزینی تا ۵۰ درصد چربی تولید شده اند که در مقایسه با مایونز پرچرب، محتوای انرژی ۲۳ درصد کمتری دارند و خواص رئولوژیکی مشابهی با مایونز کم چرب تجاری نشان داده اند [۵-۷].

میزان چربی جایگزین شده توسط جایگزین های چربی، یک ویژگی کیفی مهم در مایونز کم چرب است. محصولات با جایگزینی ۸۰ درصد چربی توسط نشاسته تف اصلاح شده<sup>۱</sup> با ۱/۵ درصد اسید استتاریک مورد مطالعه قرار گرفته اند و نتایج نشان داده اند که جایگزینی روغن آفتابگردان با نشاسته ذرت اصلاح شده با اسید استتاریک تا ۵۰ و ۸۰ درصد، امولسیون های مایونز کم کالری با ویسکوزیته بالاتر و قطرات روغن کوچکتر نسبت به مایونز کامل تولید می کند [۸]. در پژوهش های بعدی، خواص حسی و رئولوژیکی دو جایگزین بر پایه نشاسته اصلاح شده با چربی، شامل کمپلکس های آمیلوز-چربی (نشاسته ذرت با ۱/۵ درصد اسید استتاریک و نشاسته ذرت با ۲ درصد مونوگلیسیرید) بررسی شده است. نشاسته های اصلاح شده با چربی، غیرژله ای بوده و خواصی مشابه چربی از جمله براقیت، نرمی و کرمی بودن را نشان دادند [۹].

در این پژوهش، از کمپلکس سه گانه آمیلوز-اسید استتاریک-ایزوله پروتئین آب پنیر به عنوان جایگزین چربی در امولسیون های سس مایونز استفاده شده است. نشاسته، پروتئین و لیپیدها سه ماده مغذی اصلی در رژیم غذایی انسان هستند و در طی فرآوری مواد غذایی، تعاملات پیچیده ای بین این ماکرومولکول ها رخ می دهد که می تواند بر طعم، بافت، ارزش تغذیه ای و سایر ویژگی های کیفی محصولات غذایی تأثیر بگذارد [۱۰]. آمیلوز موجود در نشاسته با ساختار

## ۲-۱-مواد

نشاسته ذرت (۱۱/۴) درصد رطوبت و ۲۴/۸ درصد محتوای آمیلوز) از شرکت گلوکوزان در قزوین (ایران) تهیه شد. اسید استئاریک و ایزوله پروتئین آب پنیر (با حدود ۸۶ درصد پروتئین) از شرکت پگاه در اصفهان (ایران) خریداری شدند. سایر مواد شامل تخم مرغ (تلاونگ، تهران، ایران)، روغن آفتابگردان (اوئلا، تهران، ایران)، سرکه تقطیری با اسیدیته ۱۰/۵ درصد (خوش خوراک، همدان، ایران)، شکر، نمک، و پودر خردل (گل‌ها، تهران، ایران) از هایپر مارکت (همدان، ایران) تهیه شدند. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده از نوع تجزیه‌ای بودند و از شرکت مرک (آلمان) تهیه شدند.

## ۲-۲-روش‌ها

## ۲-۲-۱-استخراج آمیلوز

برای استخراج آمیلوز، ۱۰ گرم نشاسته ذرت با مقدار کمی اتانول مطلق مخلوط شد. سپس، محلول ۰/۵ مولار هیدروکسید سدیم به سوسپانسیون نشاسته اضافه گردید تا از تجمع ذرات جلوگیری شود. سوسپانسیون نشاسته در حمام آب شیکردار (SWB-35, HANYANG, Republic of Korea) به مدت ۲۰ دقیقه نگهداری شد و سپس در دمای اتاق تا خنک شدن به هم زده شد. پس از آن، محلول قلیایی به دست آمده به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (HB320, Behsan, Iran) شد. مایع رویی با افزودن محلول ۲ مولار هیدروکلریک اسید تحت تیتراسیون قرار گرفت تا pH به ۷ برسد. به ۱۰۰ میلی‌لیتر از این محلول، مخلوطی از نرمال-بوتانول و ایزوآمیل الکل به نسبت ۱:۳ حجمی/حجمی اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه در حمام آب شیکردار قرار گرفت. سپس، محلول به یک ظرف پلاستیکی منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد. لایه بالایی دور ریخته شد و رسوب باقی‌مانده که آمیلوز است، سانتریفیوژ و مایع رویی جدا شد. این مایع در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از آون خشک گردید [۱۹].

ماریپیچی خود می‌تواند با انواع مختلفی از لیپیدها کمپلکس تشکیل دهد. پروتئین‌ها نیز می‌توانند از طریق پیوندهای کووالانسی، برهمکنش‌های آبگریز، نیروهای الکترواستاتیکی و پیوندهای هیدروژنی با لیپیدها تعامل کنند [۱۱]. اسیدهای چرب می‌توانند کمپلکس‌های نشاسته-لیپید-پروتئین تشکیل دهند که در مقایسه با کمپلکس‌های نشاسته-لیپید دارای بلورینگی نسبی بالاتر و درجه بیشتری از نظم مولکولی هستند [۱۲، ۱۳]. علاوه بر این، کمپلکس‌های نشاسته-لیپید-پروتئین ویژگی‌های عملکردی منحصر به فردی دارند، مانند ویسکوزیته بالاتر، کاهش استحکام ژل و کاهش قابلیت هضم در شرایط آزمایشگاهی، که این ویژگی‌ها در مقایسه با کمپلکس‌های نشاسته-لیپید متمایز هستند [۱۴]. بنابراین استفاده از کمپلکس سه‌گانه (آمیلوز، پروتئین آب پنیر، و اسید استئاریک) در سس مایونز کم‌چرب باعث بهبود بافت، پایداری امولسیون، و حفظ طعم مشابه سس پرچرب می‌شود. آمیلوز به افزایش ویسکوزیته و ایجاد ساختار ژلی کمک می‌کند، در حالی که پروتئین آب پنیر به عنوان یک امولسیفایر طبیعی، از جدا شدن فازهای سس جلوگیری می‌کند. اسید استئاریک نیز با ایجاد حس چربی در دهان، نیاز به استفاده از مقادیر زیاد چربی را کاهش می‌دهد، در نتیجه می‌توان سسی با چربی کمتر و کیفیتی مشابه سس پرچرب تولید کرد. در زمینه تولید سس‌های مایونز کم‌چرب مطالعات متعددی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به استفاده از کمپلکس پکتین-آب پنیر [۱۵]، زرده تخم مرغ-آلژینات [۱۶]، زرده تخم مرغ-کیتوزان [۱۷]، نشاسته تف و نشاسته ذرت اصلاح شده با اسید استئاریک [۸]، آمیلوز نشاسته ذرت و اسید استئاریک [۹] و کیتوزان-استئاریک اسید [۱۸] اشاره کرد. بر اساس مطالعات صورت گرفته تا کنون پژوهشی مبنی بر جایگزینی چربی سس مایونز با استفاده از کمپلکس سه‌گانه آمیلوز-اسید استئاریک-ایزوله پروتئین آب پنیر انجام نشده است که در این پژوهش به آن پرداخته خواهد شد. نتایج این پژوهش می‌تواند جهت تولید سس مایونز کم‌چرب در کارخانجات فرآوری سس مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲-مواد و روش‌ها

## ۲-۲-۲- تهیه کمپلکس آمیلوز-اسید استتاریک-پروتئین

## آب پنیر

برای تهیه این کمپلکس، از غلظت‌های مختلفی از پروتئین آب پنیر و اسید استتاریک استفاده شد. ابتدا سوسپانسیون ۰/۵ درصد وزنی/حجمی آمیلوز در آب تهیه شد. سپس، پروتئین ایزوله پروتئین آب پنیر به میزان ۳ درصد وزنی/وزنی (بر اساس وزن آمیلوز) و اسید استتاریک میزان ۵ درصد وزنی/وزنی (بر اساس وزن آمیلوز) به سوسپانسیون آمیلوز اضافه شدند. سوسپانسیون ۰/۵ درصد وزنی/حجمی آمیلوز در دمای حدود ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه حرارت داده شد و سپس به آرامی خنک شد. در حین خنک شدن، مقادیر مناسب ایزوله پروتئین آب پنیر و/یا اسید استتاریک به سوسپانسیون اضافه شده و مخلوط در دماهای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه به‌طور مداوم هم زده شد [۲۰]. پس از خنک شدن تدریجی شبانه در دمای اتاق و هم‌زدن مداوم، نمونه کمپلکس سه‌گانه از طریق کاغذ صافی با اندازه منافذ ۰/۴۵ میکرون صاف و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت با استفاده از آون خشک گردید [۲۱].

## ۲-۲-۳- تهیه سس مایونز کم‌روغن

برای تهیه سس مایونز کم‌روغن، سرکه، تخم‌مرغ و مواد پودری (مطابق جدول ۱) با استفاده از هموژنایزر (10 basic, IKA, Germany) به مدت ۱ دقیقه و با سرعت ۴۵۰۰ دور در دقیقه همگن شدند. سپس روغن آفتابگردان به تدریج در طی ۲ دقیقه به مخلوط اضافه شد و در این حین سرعت هموژنایزر به ۸۰۰۰ دور در دقیقه افزایش یافت. در نهایت، امولسیون به‌دست‌آمده به مدت ۲ دقیقه دیگر در ۸۰۰۰ دور در دقیقه هموژن شد. برای تهیه سس مایونز کم‌روغن، بخشی از روغن در فرمولاسیون با یک کمپلکس پایدار آمیلوز-اسید استتاریک-پروتئین آب پنیر جایگزین شد. کمپلکس در سه سطح مختلف (۳، ۵ و ۷ درصد از کل فرمولاسیون) قبل از افزودن روغن با سایر مواد ترکیب و به مخلوط اضافه شد. سپس امولسیون‌های مایونز در ظروف شیشه‌ای ریخته شده و به مدت سه ماه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای آزمون-های بعدی نگهداری شدند.

Table 1. Composition of ingredients used in the formulation of various mayonnaise samples (% w/w)

| Ingredients     | Substitute with oil (%) |          |          |          |
|-----------------|-------------------------|----------|----------|----------|
|                 | T0 (0)                  | T25 (25) | T50 (50) | T80 (80) |
| Sunflower oil   | 75                      | 56.25    | 37.5     | 15       |
| Egg             | 8                       | 8        | 8        | 8        |
| Ternary complex | -                       | 3        | 5        | 7        |
| Vinegar         | 12                      | 12       | 12       | 12       |
| Mustard powder  | 0.5                     | 0.5      | 0.5      | 0.5      |
| Salt            | 0.5                     | 0.5      | 0.5      | 0.5      |
| Sugar           | 4                       | 4        | 4        | 4        |
| Water           | -                       | 15.75    | 32.5     | 53       |
| Total           | 100                     | 100      | 100      | 100      |

T0, T1, T2, and T3 presented the sample containing 0, 3, 5, and 7 %ternary complex, respectively.

## ۲-۲-۴- اندازه‌گیری ویژگی‌های جریان

دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به حالت تعادل رسیدند و اندازه‌گیری‌ها در همین دما انجام شد. نیروی برشی از ۰/۰۱ به ۱۰۰۰ در ثانیه افزایش یافته و سپس به همان ترتیب از ۱۰۰۰ به ۰/۰۱ در ثانیه کاهش پیدا کرد. داده‌های تجربی با استفاده از مدل هرشل-بالکلی  $\sigma = \sigma_s + K(\dot{\gamma})^n$  تجزیه و تحلیل شدند. در این مدل،  $\sigma_s$  تنش تسلیم،  $\sigma$  تنش

اندازه‌گیری جریان برشی ثابت با دستگاه رئومتر (Mcr 301, Anton par, The Netherlands) و با استفاده از پیکربندی پره و یک جام (قطر پره ۲۲ میلی‌متر در یک جام ۲۸/۹ میلی‌متر) انجام شد. نمونه‌های سس مایونز به مدت ۳۰

روش آنوای یک طرفه انجام شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۳) ترسیم شدند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- اندازه‌گیری ویژگی‌های جریان

##### ۳-۱-۱- ویسکوزیته ظاهری

ویسکوزیته سس مایونز یکی از عوامل مهم و موثر بر میزان پذیرش مصرف کنندگان است. بررسی روند تغییرات ویسکوزیته نسبت به سرعت برشی نشان‌دهنده کاهش ویسکوزیته در نمونه‌ها بود که بیانگر رفتار سودوپلاستیکی آن‌ها است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، بیشترین و کمترین میزان ویسکوزیته به ترتیب در نمونه‌های شاهد و نمونه حاوی ۷ درصد کمپلکس سه گانه مشاهده شد. کاهش ویسکوزیته در مقادیر مختلف جایگزینی را می‌توان به این صورت تفسیر کرد که مقدار روغن لازم برای تشکیل امولسیون پایدار کاهش یافته و به تبع آن ویسکوزیته کاهش می‌یابد. از سوی دیگر در سس مایونز، افزایش سطح تماس قطرات روغن با یکدیگر منجر به افزایش نیروی اصطکاک بین ذرات می‌شود که تأثیر بسزایی بر ویسکوزیته مایونز دارد. این ترکیب از تشکیل شبکه‌های پیوسته ژلی توسط آمیلوز جلوگیری می‌کند و با افزایش تحرک ذرات چربی و کاهش تراکم فاز پیوسته، جریان‌پذیری سس را بهبود می‌بخشد. پروتئین آب پنیر به عنوان امولسیفایر، نیروی جذب بین ذرات چربی را کاهش داده و اسید استتاریک با زنجیره‌های بلند خود مقاومت فاز پیوسته را کم می‌کند، که در نهایت به ویسکوزیته پایین‌تر منجر می‌شود [۲۳]. محققان در یک پژوهش تأثیر ناشسته تف و ذرت اصلاح شده با اسید استتاریک را بر ویژگی‌های رئولوژیکی، ریزساختاری، انجماد-رفع انجماد و پایداری در دمای بالا در سس مایونز کم‌چرب<sup>۲</sup> (LCMTE) بررسی کردند. استفاده از ناشسته‌های اصلاح‌شده موجب کاهش

برشی (Pa)،  $\dot{\gamma}$  نیروی برشی (۱ بر ثانیه)، K شاخص قوام (Pa/sn) که نمایانگر ویسکوزیته است) و n شاخص رفتار جریان تعریف شده است. در این مدل،  $n=1$  نشان‌دهنده سیال نیوتنی،  $n < 1$  به معنی سیال رقیق‌شونده با برش و  $n > 1$  به معنی سیال غلیظ‌شونده با برش است [۱].

##### ۲-۲- پایداری سس مایونز در دمای بالا

۲ گرم از هر نمونه سس مایونز در شش لوله اپندورف توزین شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس، هر نمونه به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و مقدار مایع جدا شده توزین شد. پایداری نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد [۸].

$$(1) \quad 100 \times \frac{\text{وزن مایع رویی جدا شده}}{\text{وزن اولیه}} = \text{پایداری در دمای } 50 \text{ درجه سانتیگراد}$$

##### ۲-۲-۶- ارزیابی حسی

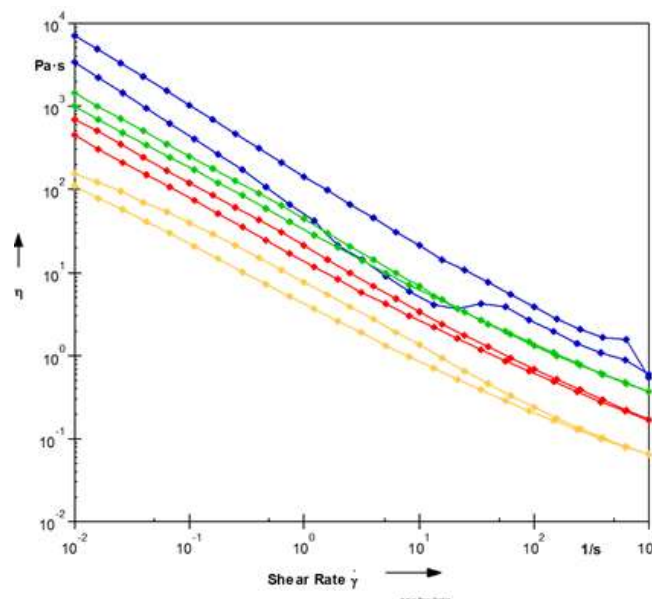
نمونه‌های سس مایونز از نظر رنگ و ظاهر، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی توسط ۱۰ ارزیاب آموزش‌دیده (۵ مرد و ۵ زن) در سنین ۲۰ تا ۵۰ سال مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارزیابی حسی ۲۴ ساعت پس از تهیه نمونه‌ها در اتاقی با نور فلورسنت و دمای کنترل‌شده انجام شد. نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی با کدهای تصادفی به ارزیابان ارائه شد و آنها به‌طور تصادفی نمونه‌ها را بررسی کردند. بین آزمایش‌ها برای شستشوی کام، آب در اختیار ارزیابان قرار گرفت. از ارزیابان خواسته شد تا ویژگی‌های حسی را بر اساس مقیاس ۹ نقطه‌ای هدونیک (۱ = بسیار نامطلوب، ۵ = نه مطلوب و نه نامطلوب، ۹ = بسیار مطلوب) رتبه‌بندی کنند [۲۲].

##### ۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

طرح آماری این پژوهش به صورت کاملاً تصادفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. مقایسه میانگین داده‌های حاصل از سه تکرار با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن و

سس مایونز پرچرب داشت [۸]. این نتایج مشابه با نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر است.

استرس و گرانیوی و افزایش پایداری در برابر انجماد-رفع انجماد و دمای بالا شد. با جایگزینی ۸۰ درصدی روغن با نشاسته‌های اصلاح‌شده، سس کم‌چرب ویژگی‌هایی مشابه



**Fig. 1.** The apparent viscosity of various mayonnaise samples. The blue, green, red, and yellow lines are related to mayonnaise containing 0, 3, 5, and 7 % of the ternary complex, respectively.

که مدول‌ها در ژل قوی وابسته به فرکانس نیستند. در محلول‌های رقیق در محدوده فرکانس مورد مطالعه، مدول ویسکوز ( $G''$ ) بزرگتر از مدول الاستیک ( $G'$ ) است و مدول‌ها در فرکانس‌های بالاتر به هم نزدیک می‌شوند، اما در محلول‌های غلیظ، در فرکانس‌های پایین مقدار مدول الاستیک ( $G'$ ) کمتر از مدول ویسکوز ( $G''$ ) است و در میانه محدوده فرکانس اعمالی یکدیگر را قطع می‌کنند. محل تقاطع دو مدول به ساختار مولکولی، وزن مولکولی و غلظت بستگی دارد [۲۴]. در این پژوهش علی‌رغم کاهش مقادیر بالای روغن در مقایسه با مایونز پرچرب (شاهد) مدول ذخیره بیشتر از مدول افت بود که بیانگر مناسب بودن کمپلکس سه‌گانه آمیلوز-اسید استتاریک-پروتئین آب‌پنیر به عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون سس مایونز می‌باشد. انتظار می‌رود که امولسیون‌هایی با مقادیر روغن بالاتر، مدول ذخیره بالاتری داشته باشند. نمونه‌های سس مایونز

### ۳-۱-۲-آزمون روبش فرکانس

به‌منظور تعیین ویژگی‌های ویسکوالاستیک نمونه‌های مایونز تهیه شده در این پژوهش، از آزمون نوسانی روبش فرکانس<sup>۳</sup> استفاده شد. آزمون فرکانس متغیر چهار نوع سیستم را می‌تواند شناسایی کند: محلول‌های رقیق، محلول‌های غلیظ، ژل‌های ضعیف و ژل‌های قوی.

در این آزمون مدول‌های افت یا ویسکوز ( $G''$ ) و ذخیره یا الاستیک ( $G'$ ) در محدوده فرکانس ۰/۱-۱۰۰ هرتز مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، در تمامی نمونه‌ها  $G'$  بیشتر از  $G''$  بود و به همین دلیل نمونه‌ها در ردیف مواد ویسکوالاستیک جامد طبقه‌بندی شدند. برای ژل‌های ضعیف، در محدوده فرکانس اعمال شده، مقدار مدول الاستیک ( $G'$ ) همواره بیشتر از مدول ویسکوز ( $G''$ ) است و هر دو مدول وابسته به فرکانس هستند. تفاوت ژل‌های قوی و ضعیف در این است

حاوی کمپلکس سه گانه به لحاظ  $G'$  در مقایسه با نمونه شاهد کمتر بودند و دلیل این امر حضور مقادیر مختلف کمپلکس سه گانه بود که خاصیت الاستیک محصول را کاهش داد. کاهش این مدول بر افزایش رفتار ویسکوز در مقایسه با رفتار ویسکوالاستیک دلالت دارد. طی پژوهشی ویژگی های فیزیکوشیمیایی، بافتی، حسی و رئولوژیکی سس مایونز کم کالری با استفاده از ماست در سطوح مختلف ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان ویسکوزیته نمونه های مایونز کم چرب نیز در مقایسه با نمونه شاهد کمتر بود. به لحاظ ویژگی های رئولوژیکی در تمامی نمونه ها، مدول ذخیره بیشتر از مدول افت بود در نتیجه، همه نمونه ها در گروه مواد ویسکوالاستیک جامد طبقه بندی شدند. همچنین، تانژانت افت در نمونه های مایونز کم چرب بیشتر از نمونه شاهد بود که بیانگر گرایش رفتار این نمونه ها به رفتار شبه مایع می باشد [۲۵].

نسبت مدول ویسکوز به مدول الاستیک، تانژانت افت یا فاکتور اتلاف ( $\tan\delta$ ) نامیده می شود که روشی برای ارزیابی رفتار ویسکوالاستیک امولسیون است. زمانی که فاکتور اتلاف کمتر از ۱ باشد، رفتار الاستیک غالب است؛ در حالی که مقادیر فاکتور اتلاف بالاتر از ۱ نشان دهنده رفتار ویسکوز می باشد. مقادیر فاکتور اتلاف بین ۰/۱ و ۱ به این

معنی است که نمونه ها ژل واقعی نیستند و ساختاری بین یک بیوپلیمر با غلظت بالا و ژل واقعی دارند. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود، مقادیر فاکتور اتلاف نمونه های مایونز کمتر از ۱ و بیشتر از ۰/۱ است که نشان می دهد این نمونه های مایونز دارای رفتار الاستیک می باشند. یکی دیگر از پارامترهای مورد بررسی در آزمون فرکانس متغیر، مدول کمپلکس ( $G^*$ ) است که از نسبت تنش حداکثر به کرنش حداکثر در آزمون نوسانی به دست می آید. مدول کمپلکس، سفتی کلی را نشان می دهد که شامل سفتی الاستیک و سفتی ویسکوز است. از نسبت مدول کمپلکس ( $G^*$ ) به فرکانس، ویسکوزیته کمپلکس ( $\eta^*$ ) به دست می آید و معیاری از سفتی کلی ماده مورد نظر است. همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، مقادیر ویسکوزیته کمپلکس نمونه های حاوی کمپلکس سه گانه با افزایش فرکانس، کاهش پیدا کرده است که نشان دهنده رفتار غیر نیوتنی و روان شوندگی با برش امولسیون ها می باشد [۲۶]. همچنین با افزایش نسبت کمپلکس سه گانه و کاهش روغن در فرمولاسیون سس مایونز مقدار ویسکوزیته کمپلکس کاهش یافت؛ به طوریکه بیشترین مقدار ویسکوزیته کمپلکس مربوط به نمونه شاهد و کمترین آن مربوط به سس مایونز حاوی کمپلکس ۷ درصد بود.

Table. 2. Parameters of frequency sweep test for mayonnaise samples

| Sample | $\tan\delta$             | Loss modulus (Pa)       | Storage modulus (Pa)    | $\eta^*$               |
|--------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| T0     | 0.139±0.00 <sup>b</sup>  | 54.0 ±0.78 <sup>a</sup> | 386.0±0.42 <sup>a</sup> | 62.0±0.14 <sup>a</sup> |
| T1     | 0.168±0.00 <sup>ab</sup> | 25.9 ±0.28 <sup>a</sup> | 154.0±0.28 <sup>b</sup> | 24.9±0.14 <sup>a</sup> |
| T2     | 0.237±0.00 <sup>a</sup>  | 15.7 ±0.14 <sup>b</sup> | 66.1±0.28 <sup>a</sup>  | 10.8±0.28 <sup>a</sup> |
| T3     | 0.347±0.00 <sup>a</sup>  | 5.80 ±0.19 <sup>c</sup> | 14.6±0.42 <sup>d</sup>  | 2.47±0.07 <sup>b</sup> |

Different letters indicate statistical significance between samples in each column at  $p<0.05$ . T0, T1, T2, and T3 presented the sample containing 0, 3, 5, and 7 %ternary complex, respectively.

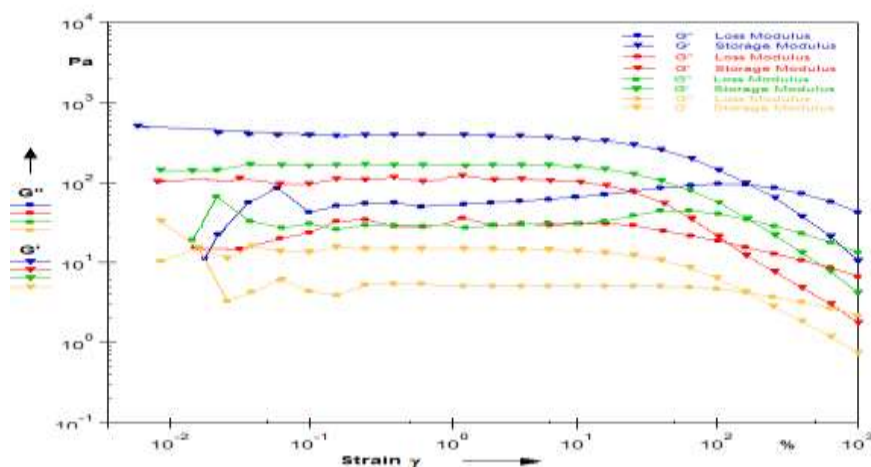
### ۳-۱-۳- آزمون کرنش متغیر

انجام آزمون های ویسکوالاستیک زمانی ارزشمند و قابل تفسیر خواهند بود که در محدوده ویسکوالاستیک خطی انجام شوند. بنابراین تعیین مقدار کرنش یا تنشی که پایین تر

از آن رفتار ماده خطی است، بسیار مهم خواهد بود. برای تعیین محدوده ویسکوالاستیک خطی نمونه های مایونز در مقادیر فرکانس معین و پایین، منحنی های  $G'$  و  $G''$  بر حسب افزایش دامنه کرنش (۰/۱ تا ۱۰ درصد) رسم شدند.

جامدگون نمونه‌های سس مایونز حاوی کمپلکس سه‌گانه است. به عبارت دیگر، نمونه‌هایی که مدول الاستیک بالاتری دارند، برهمکنش‌های بیشتری را نشان می‌دهند و پایداری بیشتری در محدوده ویسکوالاستیک خطی دارند و محدوده ویسکوالاستیک خطی گسترده‌تری دارند. با افزایش درصد کرنش، مقادیر  $G'$  و  $G''$  کاهش یافته و برهمکنش‌های موجود در ساختار جامدگون ساختار امولسیون مایونز شکسته می‌شود (جدول ۲). در پژوهشی دیگر، سس مایونز کم‌کالری با جایگزینی بخشی از روغن با نشاسته برنج ژلاتینه شده و صمغ زانتان فرموله شد و تأثیر آن بر ویژگی‌های رئولوژیکی بررسی شد [۶]. نتایج نشان داد که سس مایونز با جایگزینی حداکثر ۳۰ درصد چربی، ۲۳ درصد انرژی کمتری در مقایسه با سس مایونز پرچرب داشت. از طرفی، سس مایونز کم‌کالری ویژگی‌های رئولوژیکی مشابه سس مایونز تجاری کم‌چرب را به نمایش گذاشت.

مقدار کرنشی که در آن  $G'$  و  $G''$  روند نزولی پیدا می‌کند، به‌عنوان حد نهایی محدوده خطی در نظر گرفته می‌شود. بزرگ‌تر بودن ناحیه ویسکوالاستیک خطی در امولسیون‌ها نشان‌دهنده پایداری بیشتر امولسیون در آزمون روبش-کرنش است. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، با انجام آزمون کرنش متغیر امکان تعیین دو ناحیه، یعنی ناحیه ویسکوالاستیک خطی و ویسکوالاستیک غیر خطی، فراهم می‌شود. در ناحیه ویسکوالاستیک غیرخطی، با افزایش درصد کرنش، مقادیر  $G'$  و  $G''$  کاهش پیدا می‌کند. محدوده ناحیه ویسکوالاستیک خطی و پایان آن توسط کرنش بحرانی ( $\gamma_L$ ) تعیین می‌گردد و تا زمان رسیدن به این محدوده، تغییر قابل توجهی در ساختار امولسیون مایونز پدید نمی‌آید. در جدول ۲ مشخص است که مقادیر مدول ذخیره ( $G'$ ) نمونه‌ها بالاتر از مدول ویسکوز ( $G''$ ) در محدوده کرنش مورد بررسی است. بالاتر بودن مقادیر مدول الاستیک نسبت به مدول ویسکوز نشان دهنده رفتار



**Fig. 2.** The storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) of various mayonnaise samples in strain sweep test. The blue, green, red, and yellow lines are related to mayonnaise containing 0, 3, 5, and 7 % of the ternary complex, respectively.

نسبت کمپلکس سه‌گانه در فرمولاسیون سس مایونز پایداری در دمای بالا کاهش یافت. طی پژوهشی از سه سطح ژل کمپلکس نانوفیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا (۵، ۱۵ و ۲۵ درصد) و سه سطح نسبت نانوفیبر سلولز-ایزوله پروتئین سویا (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) به‌عنوان جایگزین چربی در تهیه سس مایونز کم‌چرب استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش میزان جایگزینی روغن با ژل کمپلکس به‌طور معنی‌داری

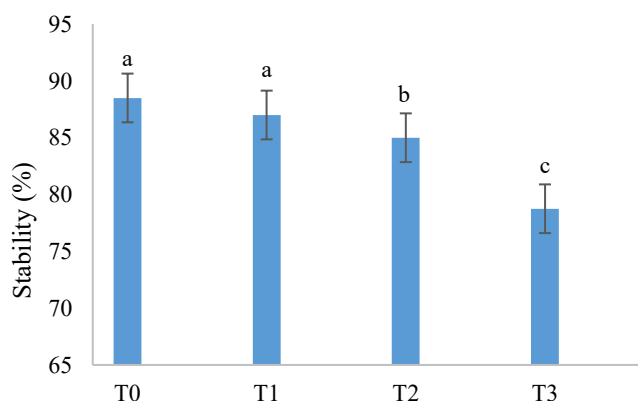
### ۳-۲- پایداری سس مایونز در دمای بالا

نتایج آزمون پایداری در دمای بالا برای نمونه‌های سس مایونز کم‌چرب حاوی کمپلکس سه‌گانه در شکل ۳ نشان داده شده‌است. کاهش روغن در فرمولاسیون سس مایونز با نسبت‌های ۲۵، ۵۰ و ۸۰ درصد و افزودن کمپلکس سه‌گانه با نسبت‌های ۳، ۵ و ۷ درصد تأثیر معنی‌دار بر پایداری حرارتی نمونه‌ها داشت ( $p < 0.05$ ). همچنین، با افزایش

سبب افزایش محتوای پایداری فیزیکی و حرارتی سس مایونز گردید ( $p < 0.05$ ). امولسیون پایدار، به امولسیون اطلاق می‌شود که در آن هم آمیختگی<sup>۴</sup>، روشینی<sup>۵</sup> و خامه ای شدن<sup>۶</sup> رخ ندهد. پدیده خامه‌ای شدن در نمونه‌های سس مایونز پرچرب که حاوی مقادیر بالای روغن هستند (۸۰ درصد)، کم‌تر اتفاق می‌افتد، زیرا قطرات روغن به شدت با یکدیگر تماس دارند و اصطکاک حاصل بین آن‌ها مانع از خامه‌ای شدن می‌شود؛ در حالی که در نمونه‌های با میزان چربی پایین، این پدیده معمول‌تر است. در فرآورده‌های کم‌چرب، افزودن یک عامل غلیظ کننده مانند صمغ و یا پروتئین به فاز آبی، باعث کاهش حرکت قطرات امولسیون شده و از پدیده خامه‌ای شدن جلوگیری می‌کند [۲۷].

در امولسیون‌های روغن در آب، مولکول‌های پروتئین به علت فعالیت سطحی ذاتی خود قادر به جذب شدن روی سطح قطرات روغن از طریق برهمکنش‌های آبگریز هستند و با تشکیل فیلم بین سطحی ضخیم و ویسکوز سبب پایداری امولسیون می‌شوند. در حالی که پلی‌ساکاریدها بیشتر از طریق افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و تشکیل شبکه ژل مانند به بهبود پایداری امولسیون‌ها کمک می‌کنند [۲۸]. در برخی امولسیون‌ها، افزایش غلظت ذرات جذب نشده به سطح قطرات روغن در فاز پیوسته، از طریق

سازوکار به هم پیوستگی نقصانی<sup>۷</sup> سبب ناپایداری امولسیون می‌شود. در پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد پروتئین آب پیر قادر بوده است تا به سطح قطرات روغن در سس مایونز کم چرب جذب شود، اما افزایش غلظت پروتئین در فاز پیوسته (به علت اشباع شدن سطح قطرات از پروتئین) منجر به ناپایداری سامانه امولسیونی سس مایونز شده است. این با گزارشات پیشین همچون یافته‌های شیرمحمدی و همکاران (۲۰۱۵) پیرامون کاهش پایداری فیزیکی و حرارتی سس مایونز کم چرب در مقایسه با نمونه پرچرب مطابقت دارد [۲۹]. بعلاوه مطابق با قانون استوک هر چه گرانیوی فاز پیوسته بیش‌تر باشد، سرعت جداسازی فازها کم‌تر و امولسیون پایدارتر خواهد بود؛ در حالی که گرانیوی پایین، باعث افزایش حرکت ذرات و در نتیجه افزایش سینریز (آب اندازی) می‌شود. بنابراین، کاهش پایداری نمونه‌ها در این پژوهش را می‌توان به افزایش فاز آبی، کاهش غلظت و در نتیجه کاهش گرانیوی نسبت داد. همچنین، با توجه به اعمال حرارت در آزمون پایداری حرارتی، افزایش دما در شوک حرارتی می‌تواند منجر به شکستن ساختاری مولکول‌ها، افزایش آزادی و تحرک مولکول‌ها، جاری شدن آن‌ها و در نتیجه کاهش گرانیوی و به تبع آن کاهش پایداری امولسیون شود [۳۰].



**Fig. 3.** Stability of mayonnaise sample. Different letters indicate statistical significance between samples at  $p < 0.05$ . T0, T1, T2, and T3 presented the sample containing 0, 3, 5, and 7 %ternary complex, respectively.

6-Creaming

4-Coalescence

7 Depletion flocculation

5-Flocculation

## ۳-۳- ارزیابی حسی

نتایج ارزیابی حسی شامل رنگ و ظاهر، بافت، عطر و بو، طعم، احساس دهانی و پذیرش کلی نمونه‌های مایونز کم چرب حاوی کمپلکس سه گانه در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از نظر رنگ و ظاهر بالاترین امتیاز به نمونه مایونز با کاهش ۵۰ درصدی روغن تعلق دارد. در مورد بافت، بالاترین امتیاز مربوط به نمونه شاهد بوده و کمترین امتیاز مربوط به نمونه مایونز با کاهش ۸۰ درصدی روغن اختصاص دارد که با نتایج بافت سنجی نیز همخوانی دارد. نمونه‌های  $T_0$ ،  $T_1$  و  $T_2$  از نظر طعم تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند ( $p > 0.05$ ) اما نمونه سس مایونز با ۸۰ درصد کاهش روغن کمترین امتیاز را در این خصوص کسب نمود. پایین‌ترین امتیاز احساس دهانی نیز به نمونه  $T_2$  تعلق دارد. از نظر پذیرش کلی، پس از نمونه شاهد بالاترین امتیاز به نمونه‌های  $T_1$  و  $T_2$  داده شده. کمترین امتیاز به نمونه  $T_3$  اختصاص دارد. به طور کلی، سس مایونز با کاهش روغن ۵۰ درصدی روغن و حاوی کمپلکس سه گانه ۵ درصد بیشترین امتیاز را از نظر رنگ به دست آورد و به دلیل قوام و بافت مناسب برای استفاده در فرمولاسیون سس‌هایی با گرانروی کمتر مانند سس‌های سالاد توصیه می‌شود. نمونه با کاهش ۲۵

درصدی روغن که تفاوت معنی داری از نظر بافت و پذیرش کلی با نمونه شاهد داشت برای استفاده در فرمولاسیون سس‌هایی با گرانروی بیشتر مانند سس مایونز قاشق خور مناسب‌تر است.

در پژوهشی دیگر، جایگزین‌های چربی شامل نشاسته ذرت اصلاح شده با لپید، نشاسته ذرت با ۱/۵ درصد اسید استتاریک و نشاسته ذرت با ۲ درصد مونوگلیسیرید، برای فرمولاسیون سس مایونز با چربی کاهش یافته در سطح جایگزینی روغن صفر درصد (نمونه کنترل)، ۵۰، ۸۰ و ۹۸ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد سس مایونز با چربی کاهش یافته حاوی کمپلکس نشاسته-مونوگلیسیرید از نظر ویژگی‌های یکنواختی بافت، خامه‌ای بودن و احساس دهانی مشابه سس مایونز پرچرب در تمام سطوح جایگزینی روغن بوده و از نظر غلظت و ویژگی‌های حسی قابل بلعیدن تا حد جایگزینی ۵۰ درصد نیز شباهت داشتند. برای سس مایونز حاوی کمپلکس نشاسته-اسید استتاریک، ویژگی‌های یکنواختی بافت، غلظت، خامه‌ای بودن و احساس دهانی پایین‌تر ارزیابی شدند. در حالی که از نظر ویژگی‌های ذوب و قابلیت بلعیدن آسان بهتر از سس مایونز حاوی کمپلکس نشاسته-مونو گلیسیرید بودند. به طور کلی، تمام امولسیون‌ها با چربی کاهش یافته ویژگی روانکاری خوبی داشتند [۱].

**Table 3.** Sensory quality of various mayonnaise samples.  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , and  $T_3$  presented the sample containing 0, 3, 5, and 7 % ternary complex, respectively.

|       | Color and appearance | Texture  | Aroma     | Taste    | Mouth feel | Overall acceptance |
|-------|----------------------|----------|-----------|----------|------------|--------------------|
| $T_0$ | 5.6±1.4b             | 7.2±0.7a | 7.0±1.0a  | 6.7±1.4a | 5.9±1.1a   | 6.3±1.2a           |
| $T_1$ | 5.8±1.1b             | 7.1±1.3a | 6.4±1.6ab | 6.6±1.9a | 5.9±1.1a   | 6.1±1.8a           |
| $T_2$ | 7.6±0.9a             | 5.8±1.3b | 5.5±1.5b  | 6.0±1.3a | 5.8±1.2a   | 6.0±1.0a           |
| $T_3$ | 4.7±1.1b             | 3.8±1.2c | 5.3±1.3b  | 4.1±0.9b | 3.7±0.9b   | 3.6±1.0b           |

Different letters indicate statistical significance between samples in each column at  $p < 0.05$ .  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , and  $T_3$  presented the sample containing 0, 3, 5, and 7 % ternary complex, respectively.

## ۴- نتیجه گیری نهایی

در این پژوهش تأثیر استفاده از کمپلکس سه گانه آمیلوز-اسید استتاریک-ایزوله پروتئین آب پنیر به عنوان جایگزین چربی بر خصوصیات رئولوژیکی، حسی و پایداری سس

مایونز مورد بررسی قرار گرفت. تمامی سس‌ها رفتار رقیق شونده با برش نشان دادند. نتایج نشان داد با افزایش میزان کمپلکس از ۰ به ۷ درصد ویسکوزیته و به دنبال آن پایداری کاهش می‌یابد. در تمامی نمونه‌ها  $G'$  بیشتر از  $G''$  بود و در

استفاده از ۵٪ کمپلکس سه گانه آمیلوز-اسید استئاریک-ایزوله پروئین را جهت تولید سس مایونز کم روغن پیشنهاد می نماید.

نتیجه نمونه ها در ردیف مواد ویسکوالاستیک جامد طبقه بندی شدند. مقادیر مدول ذخیره (G') نمونه ها بالاتر از مدول ویسکوز (G'') در محدوده کرنش مورد بررسی بود. از نظر خصوصیات حسی نمونه سس مایونز با روغن کاهش یافته ۵۰ درصد و حاوی کمپلکس سه گانه ۵ درصد، بیشترین امتیاز ارزیابی حسی را داشت. نتایج این تحقیق

## ۵-منابع

- [1] Agyei-Amponsah, J., Macakova, L., DeKock, H. L., & Emmambux, M. N. (2019). Sensory, tribological, and rheological profiling of "clean label" starch-lipid complexes as fat replacers. *Starch-Stärke*, 71(9-10), 1800340.
- [2] Bajaj, R., Singh, N., & Kaur, A. (2019). Properties of octenyl succinic anhydride (OSA) modified starches and their application in low fat mayonnaise. *International journal of biological macromolecules*, 131, 147-157.
- [3] Rojas-Martin, L., Quintana, S. E., & García-Zapateiro, L. A. (2023). Physicochemical, rheological, and microstructural properties of low-fat mayonnaise manufactured with hydrocolloids from *Dioscorea rotundata* as a fat substitute. *Processes*, 11(2), 492.
- [4] Chung, C., & McClements, D. J. (2014). Structure-function relationships in food emulsions: Improving food quality and sensory perception. *Food Structure*, 1(2), 106-126.
- [5] Ma, Z., & Boye, J. I. (2013). Advances in the design and production of reduced-fat and reduced-cholesterol salad dressing and mayonnaise: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 648-670.
- [6] Lee, I., Lee, S., Lee, N., & Ko, S. (2013). Reduced-fat mayonnaise formulated with gelatinized rice starch and xanthan gum. *Cereal Chemistry*, 90(1), 29-34.
- [7] Chung, C., Degner, B., & McClements, D. J. (2014). Reduced calorie emulsion-based foods: Protein microparticles and dietary fiber as fat replacers. *Food Research International*, 64, 664-676.
- [8] Teklehaimanot, W. H., Duodu, K. G., & Emmambux, M. N. (2013). Maize and teff starches modified with stearic acid as potential fat replacer in low calorie mayonnaise-type emulsions. *Starch-Stärke*, 65(9-10), 773-781.
- [9] Agyei-Amponsah, J., Macakova, L., DeKock, H. L., & Emmambux, M. N. (2021). Effect of substituting sunflower oil with starch-based fat replacers on sensory profile, tribology, and rheology of reduced-fat mayonnaise-type emulsions. *Starch-Stärke*, 73(3-4), 2000092.
- [10] Parada, J., & Santos, J. L. (2016). Interactions between starch, lipids, and proteins in foods: Microstructure control for glycemic response modulation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14), 2362-2369.
- [11] Wang, S., Wang, J., Yu, J., & Wang, S. (2016). Effect of fatty acids on functional properties of normal wheat and waxy wheat starches: A structural basis. *Food Chemistry*, 190, 285-292.
- [12] Zheng, M., Chao, C., Yu, J., Copeland, L., Wang, S., & Wang, S. (2018). Effects of chain length and degree of unsaturation of fatty acids on structure and in vitro digestibility of starch-protein-fatty acid complexes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(8), 1872-1880.
- [13] Wang, S., Zheng, M., Yu, J., Wang, S., & Copeland, L. (2017). Insights into the formation and structures of starch-protein-lipid complexes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(9), 1960-1966.
- [14] Chen, W., Chao, C., Yu, J., Copeland, L., Wang, S., & Wang, S. (2021). Effect of protein-fatty acid interactions on the formation of starch-lipid-protein complexes. *Food Chemistry*, 364, 130390.
- [15] Sun C, Liu R, Liang B, Wu T, Sui W, Zhang M. Microparticulated whey protein-pectin complex: A texture-controllable gel for low-fat mayonnaise. *Food Research International*. 2018;108:151-60.
- [16] Yang X, Li A, Yu W, Li X, Sun L, Xue J, et al. Structuring oil-in-water emulsion by forming egg yolk/alginate complexes: Their potential application in fabricating low-fat mayonnaise-like emulsion gels and redispersible solid emulsions. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;147:595-606.
- [17] Sun H, Ding H, Salama M, Li X, Abou-Eloud M, Zhang X, et al. Enhancement of the formation and stability of low-fat Pickering emulsion gels stabilized with egg yolk granules-chitosan complex: Insights into the development of mayonnaise substitutes. *Food Chemistry*. 2024:141734.
- [18] Hosseini RS, Rajaei A. Potential Pickering emulsion stabilized with chitosan-stearic acid nanogels incorporating clove essential oil to

- produce fish-oil-enriched mayonnaise. *Carbohydrate Polymers*. 2020;241:116340.
- [19] Dutta, H., Paul, S. K., Kalita, D., & Mahanta, C. L. (2011). Effect of acid concentration and treatment time on acid-alcohol modified jackfruit seed starch properties. *Food Chemistry*, 128(2), 284-291 .
- [20] Jan, R., Saxena, D., & Singh, S. (2016). Physico-chemical, textural, sensory and antioxidant characteristics of gluten-Free cookies made from raw and germinated *Chenopodium* (*Chenopodium album*) flour. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 281-287 .
- [21] Zhang, G., Maladen, M., Campanella, O. H., & Hamaker, B. R. (2010). Free fatty acids electronically bridge the self-assembly of a three-component nanocomplex consisting of amylose, protein, and free fatty acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(16), 9164-9170 .
- [22] Singh, M., Byars, J. A., & Kenar, J. A. (2014). Amylose-potassium oleate inclusion complex in plain set-style yogurt. *Journal of Food Science*, 79(5), E822-E827 .
- [23] Nikzade, V., Tehrani, M. M., & Saadatmand-Tarzjan, M. (2012). Optimization of low-cholesterol-low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. *Food Hydrocolloids*, 28(2), 344-352 .
- [24] Kutz, M. (2007). *Handbook of farm dairy and food machinery*. Chapter 14 (Food rheology), 395-402.
- [25] Rangriz, A., Mortazavi, S. A., Khomeiri, M., & Amiri, S. (2016). Physicochemical, textural, sensory and rheological properties of low-calorie mayonnaise with dairy-based. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 12(1), 34-48.
- [26] Niknam, R., Ayaseh, A. and Ghanbarzadeh, B. (2018). Steady shear flow and dynamic rheology of the emulsions containing ultrasound-assisted extracted *Plantago major* seed gum. 49(5), 536-549.
- [27] Mun, S., Kim, Y.-L., Kang, C.-G., Park, K.-H., Shim, J.-Y., & Kim, Y.-R. (2009). Development of reduced-fat mayonnaise using 4 $\alpha$ Gase-modified rice starch and xanthan gum. *International journal of biological macromolecules*, 4, 5, 400-407.
- [28] Razavi, R., Kenari, R. E., Farmani, J., & Jahanshahi, M. (2020). Fabrication of zein/alginate delivery system for nanofood model based on pumpkin. *International journal of biological macromolecules*, 165, 3123-3134 .
- [29] Shirmohammadi, M., Azadmard, D., & Zarrin, G. (2015). Feasibility of formulation functional mayonnaise with incorporating flaxseed powder . *Journal of food science and technology* [In Persian].
- [30] Mirghfour, S. and Rahimi, S. (2016). Evaluation of physicochemical, emulsion and rheological properties of mayonnaise containing soy milk and aloe vera gel. *New Technologies in Food Industry*, 3(3), 73-83. [In Persian] .



## Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: [www.fsct.modares.ir](http://www.fsct.modares.ir)

### Scientific Research

### Evaluation of the Effects of Amylose-Stearic Acid-Whey Protein Isolate Ternary Complex on the Rheological, Sensory, and Stability Properties of Low-Fat Mayonnaise

Faezeh Karami<sup>1</sup>, Mehran Alami<sup>1\*</sup>, Mostafa Karami<sup>2</sup>, Hoda Shahiri Tabarestani<sup>1</sup>

1-Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2-Department of Food Industries, Faculty of Science and Food Industry Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

| ARTICLE INFO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article History:</b></p> <p>Received:2024/09/29</p> <p>Accepted:2024/12/21</p> <p><b>Keywords:</b></p> <p>Stearic Acid,</p> <p>Corn Amylose,</p> <p>Whey Protein Isolate,</p> <p>Viscosity,</p> <p>Low Calorie Mayonnaise</p> <p><b>DOI: 10.48311/fsct.2025.83892.0.</b></p> <p>*Corresponding Author E-<br/>mehranalami@gmail.com</p> | <p>Given the high-calorie content of fat in mayonnaise, finding an effective fat replacer is crucial. In this study, amylose was extracted from raw corn starch and combined with whey protein isolate (3% w/w) and stearic acid (5% w/w) at 75°C for 60 min to form a ternary complex. This complex was incorporated into mayonnaise formulations at 4 different concentrations: 0, 3, 5, and 7 % (w/w). Rheological analysis revealed a shear-thinning behaviour in all samples, with viscosity decreasing as the complex concentration increased from 0 to 7%. The storage modulus (G') was consistently higher than the loss modulus (G''), categorizing the samples as solid viscoelastic materials. The sample without the complex exhibited the highest stability against phase separation (88.5 %) whereas sample c with 7 % of the ternary complex showed the lowest stability (78.75 %). Sensory evaluation indicated that the sample with 5 % (w/w) ternary complex achieved the highest acceptability. These findings suggest that incorporating 5 % w/w ternary complex is effective for producing low-fat mayonnaise with both desirable technological and sensory properties.</p> |