



## ویژگیهای رئولوژیکی و بافتی ماست فراسودمند حاوی عصاره گلبرگ زعفران ریزپوشانی شده با

### سدیم کازئینات

عطیه جلیلیان راستگو<sup>۱</sup>، حجت کاراژیان<sup>۲\*</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران  
۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تربت حیدریه، دانشگاه آزاد اسلامی، تربت حیدریه، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۸	
تاریخ داوری: ۱۴۰۵/۰۱/۲۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۱۰/۲۹	
کلمات کلیدی:	
ماست فراسودمند،	گلبرگ زعفران،
ریزپوشانی،	خواص رئولوژیکی،
ویژگی های بافتی،	سدینزیس،
آنتوسیانین	
DOI: 10.48311/fsct.2026.118838.83029	
* مسئول مکاتبات:	
hojjat.karazhiyan@iauo.ac.ir	

## ۱-مقدمه

گلبرگ زعفران یکی از محصولات جانبی زعفران است که میزان تولید آن، بیش از ۱۰۰۰۰ تن در سال است. گلبرگ زعفران، منبعی غنی از ترکیبات فعال زیستی، حاوی انواع ترکیبات فلاونوئیدی (کائمفرول<sup>۱</sup>، روتین<sup>۲</sup>، کوئرستین<sup>۳</sup>، لوتولین<sup>۴</sup> و هسپریدین<sup>۵</sup>)، تانن‌ها، آنتوسیانین‌ها و گلیکوزیدهای آن‌ها می‌باشد [۱]. دارای ۱۰/۲ درصد پروتئین، ۵/۳ درصد چربی، ۷ درصد خاکستر، ۸/۸ درصد فیبر، و مواد معدنی ضروری (کلسیم، پتاسیم و فسفر) است [۲] و دارای خواص درمانی فراوان می‌باشد. پژوهشگران خواص درمانی گلبرگ زعفران را مربوط به ترکیبات فلاونوئیدی که به مقدار فراوان در گلبرگ زعفران وجود داشته و دارای ویژگی آنتی‌اکسیدانی هستند، دانسته اند.

ریزپوشانی یا کپسوله کردن تکنیک بسته بندی اجزا و ترکیبات حساس در داخل یک پوشش یا دیواره است، تا از تاثیر عوامل فیزیکوشیمیایی محیطی، اکسیداسیون و تخریب مصون بمانند [۳]. در صنایع غذایی، ریزپوشانی به دلایل مختلفی از جمله کاهش واکنش پذیری مواد هسته با شرایط محیطی (مانند نور، حرارت، اکسیژن و رطوبت)، همچنین جلوگیری از تخریب آن‌ها، رهایش تدریجی در طول زمان و پوشاندن عطر یا طعم نامطلوب مواد هسته‌ای صورت می‌گیرد [۴].

کازئینات سدیم دارای بخش‌های هیدروفوبیک (آب‌گریز) و هیدروفیلیک (آب‌دوست) است. سدیم کازئینات به دلیل خواص امولسیون‌سازی، قابلیت تشکیل فیلم، حلالیت خوب و پایداری، یکی از مناسب‌ترین مواد دیواره برای ریزپوشانی در صنایع غذایی است، به ویژه برای ترکیبات روغنی یا حساس به شرایط محیطی [۵].

در میان غذاهای فراسودمند، غذاهای بر پایه لبنیات، حدود ۴۳٪ از سهم بازار را به خود اختصاص دادند که تقریباً به

طور کامل شامل محصولات لبنی تخمیری می‌باشد. در بین محصولات لبنی، ماست محبوب‌ترین فرآورده مورد مصرف و یکی از پرمصرف‌ترین فرآورده تخمیری در جهان می‌باشد و ویژگی‌های حسی آن تاثیر زیادی بر پذیرش مصرف کننده دارد [۶].

خلیلی و همکاران (۲۰۲۱) عصاره‌ی گلبرگ زعفران را به روش آنزیمی تهیه و سپس آن را با کنسانتره‌ی پروتئین آب‌پنیر و مالتودکسترین به نسبت ۴ به ۱ به عنوان مواد دیواره، ریزپوشانی و اثر عصاره‌ی آزاد و عصاره‌ی ریزپوشانی شده را بر ماندگاری و خواص شیمیایی، میکروبی و حسی فیله‌ی ماهی قزل‌آلا مقایسه کردند [۷].

پوپسکو و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی تاثیر ریزپوشانی عصاره ریحان بر کیفیت و پایداری پنیر خامه‌ای پرداختند [۸].

سردا-برناد و همکاران (۲۰۲۳)، پژوهشی را با هدف غنی‌سازی ماست با استفاده از عصاره‌های ریزپوشانی شده ضایعات گل زعفران و عصاره‌های کلالة زعفران انجام دادند. پژوهش آنها نشان داد که ریزپوشانی عصاره‌های ضایعات گل زعفران می‌تواند به عنوان یک ماده اولیه عملکردی، ارزش غذایی و عملکردی ماست را بهبود بخشد [۹].

بایرام و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی ویژگی‌های عملکردی و فنلی ماست چکیده غنی‌شده با گیاهان دارویی مرزنجوش، رزماری، ریحان و نعناع فلفلی پرداختند [۱۰].

هدف از این پژوهش، استفاده بهینه از محصولات جانبی زعفران و ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران به عنوان روشی نوین جهت نوآوری در تولید محصولی از زعفران با ارزش افزوده‌ی بالا، که با استفاده از کازئینات سدیم به عنوان ماده‌ای در دسترس و کم هزینه، با هدف افزایش پایداری آنتوسیانین در برابر شرایط محیطی و در نهایت استفاده از آن به عنوان یک عامل رنگی و دارویی در ماست می‌باشد. تاکنون هیچ

4 -Luteolin

5- Hesperidin

1- Kaempferol

2- Rutin

3 -Quercetin

دمای ۸۶- درجه سانتیگراد و فشار ۵ میلیمتر جیوه به مدت ۷۲ ساعت، خشک شدند.

مواد دیواره (کازئینات سدیم) و هسته (گلبرگ زعفران پودر شده)، در سه نسبت ۳ به ۱ و ۵ به ۱ و ۷ به ۱ مخلوط و سپس بر روی همزن مغناطیسی به مدت ۲۰ دقیقه مخلوط شدند. در انتها، PH مخلوط به منظور پایداری آنتوسیانین، توسط اسیدکلریدریک ۱/۵ نرمال تا ۲ کاهش یافت. نمونه‌های مورد استفاده، توسط خشک کن انجمادی در دمای ۸۶- درجه سانتی‌گراد و فشار ۵ میلیمتر جیوه به مدت ۷۲ ساعت، خشک شدند. ماده جامد حاصل، بلافاصله در هاون چینی خرد و الک (الک با مش ۴۰) شدند و در ظروف شیشه‌ای تیره درب‌دار در فریزر نگهداری شدند.

#### ۲-۱-۱- تهیه نمونه‌های ماست

به منظور تهیه ماست، ابتدا شیر پس از استانداردسازی، در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد و سپس تا دمای گرم‌خانه‌گذاری (۴۵ درجه سانتی‌گراد) سرد شد. شیر با استفاده از باکتری‌های آغازگر تجاری (شامل *Lactobacillus* و *Streptococcus thermophilus* *bulgaricus*) به میزان ۳ درصد تلقیح گردید. در این مرحله، پودر حاصل از ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران (که با نسبت بهینه ۷:۱ از سدیم کازئینات به عصاره تولید شده بود [۱۱]) در سطوح ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی-وزنی به شیر تلقیح شده اضافه و توسط همزن استریل به خوبی یکنواخت گردید. نمونه‌ها در ظروف استریل ریخته شده و در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد تا دستیابی به pH نهایی ۴/۶ (نقطه ایزوالکتریک کازئین) گرم‌خانه‌گذاری شدند. پس از اتمام فرآیند تخمیر و تشکیل لخته، نمونه‌ها جهت تثبیت ساختار و انجام آزمون‌ها به یخچال (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) منتقل گردیدند [۱۲].

#### ۲-۲- آزمون‌ها

پژوهش مستقلی بر روی تولید ماست فراسودمند با استفاده از عصاره گلبرگ زعفران ریزپوشانی شده انجام نشده است. این پژوهش، با تمرکز بر استفاده از این ترکیب منحصربه‌فرد، به دنبال پر کردن این شکاف تحقیقاتی است و هدف آن بررسی خواص فیزیکوشیمیایی، حسی و زیست‌فعال ماست می باشد.

#### ۲- مواد و روش‌ها

##### ۲-۱- مواد

از محصول برداشت شده زعفران در آبان سال ۱۴۰۳، از مزرعه‌های مشخصی در شهرستان تربت حیدریه، واقع در خراسان رضوی استفاده شد. زعفران پس از برداشت و جدا کردن قسمت‌های مختلف، گلبرگ آن در کارخانه آرنیکا شهرستان تربت حیدریه خشک شد. کازئینات سدیم (Sigma- Aldrich, CAS NO.: 90005-46-3) جهت فرآیند ریزپوشانی گلبرگ زعفران تهیه شد. گلبرگ‌های خشک شده با آسیاب خانگی، آسیاب و الک (مش ۱۶) شدند و در ظروف تیره با درب کاملاً بسته ریخته و تا انجام آزمون‌های بعدی در یخچال نگهداری شدند. در یک بطری تیره، ۱۰ گرم گلبرگ زعفران با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد. سپس ۱۵۰ میلی لیتر اتانول ۵۰٪ که PH آن توسط اسیدکلریدریک ۱/۵ نرمال روی ۳ تنظیم شده بود، به آن افزوده و برای مدت زمان ۲۴ ساعت در اتاقی تاریک با دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) هم زده شد. پس از ۲۴ ساعت، نمونه با کاغذ صافی واتمن شماره یک و توسط پمپ خلا صاف شد. باقیمانده گلبرگ روی کاغذ صافی، دوباره با همین حجم از حلال (۱۵۰ میلی لیتر) شسته شد. PH عصاره حاصل برای کاهش اثر تخریبی حرارت، با استفاده از اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال روی ۳ تنظیم شد. به منظور حذف حلال و افزایش غلظت عصاره، عصاره بدست آمده در تبخیرکننده‌ی چرخان در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه قرار گرفت، سپس عصاره حاصل توسط خشک کن انجمادی در

## ۲-۲-۱- ارزیابی میزان سینریز ماست

برای اندازه‌گیری سینریز نمونه‌های ماست، از رابطه ۱ استفاده شد [۱۳].

$$\text{رابطه (۱)} \quad M_1/M_2 \times 100 = \text{سینریز}$$

$M_1$  = وزن اولیه ماست قبل از سانتریفوژ کردن

$M_2$  = وزن آب پنیر پس از سانتریفوژ کردن

## ۲-۲-۲- بررسی خصوصیات بافتی ماست

آنالیز گر بافت (Stable Micro Systems, Surry, England)

جهت ارزیابی سختی نمونه های ماست در دمای ۵ درجه سانتیگراد استفاده شد. ۱۰۰ گرم از نمونه بدون همزدن در محفظه دستگاه قرار داده می‌شود. استوانه با قطر ۲۰ میلی متر و عمق نفوذ ۷۰ میلی متر و با نیروی ۰/۱ نیوتن با سرعت ۱ میلی متر بر ثانیه به سمت نمونه فشار وارد می‌کند و میزان سختی<sup>۶</sup> نمونه بر حسب نیوتن ارزیابی می‌گردد [۱۴].

## ۲-۲-۳- میزان آنتوسیانین نمونه‌های ماست

میزان آنتوسیانین کل موجود به کمک روش PH افتراقی اندازه‌گیری و بر مبنای میلی گرم سیانیدین تری گلیکوزید در هر گرم ماده خشک پودر گزارش شد [۱۵].

## ۲-۲-۴- بررسی خصوصیات رئولوژیکی ماست

برای اندازه‌گیری خصوصیات جریانیه نمونه‌های ماست، از دستگاه ویسکومتر چرخشی بروکفیلد مدل RVDV – U III استفاده شد. کلیه آزمون‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با شرایط یکسان انجام شد. بطوریکه منحنی جریان نمونه‌ها در دامنه سرعت برشی ۰ تا ۱۰۰  $S^{-1}$  اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که دستگاه ویسکومتر مجهز به دستگاه کامپیوتری بوده و شرایط کاری دستگاه کاملاً قابل کنترل می‌باشد. به منظور مدل سازی خصوصیات جریانیه نمونه‌های ماست تولیدی با توجه به این که ویسکوزیته با افزایش درجه برش در کلیه آزمون‌های رئولوژیکی کاهش می‌یافت و در نتیجه رفتار غیر نیوتنی ظاهر می‌شد از ۴ مدل سیالات غیر نیوتنی

شامل مدل قانون توان، مدل بینگهام، مدل هرشل بالکلی و مدل کاسون استفاده شد [۱۶].

$$\text{رابطه (۲) مدل قانون توان} \quad \sigma = k\gamma^n$$

در این رابطه  $\sigma$  تنش برشی (Pa)،  $\gamma$  سرعت برشی ( $S^{-1}$ )،  $n$  شاخص رفتار جریان (بدون بعد) و  $k$  شاخص قوام مدل قانون توان ( $Pa \cdot s^n$ ) است.

$$\text{رابطه (۳) مدل هرشل-بالکلی} \quad \sigma = \sigma_{0H} + k_H(\gamma)^{n_H}$$

در این رابطه  $\sigma$  تنش برشی (Pa)،  $\gamma$  سرعت برشی ( $S^{-1}$ )،  $\sigma_{0H}$  تنش تسلیم مدل هرشل بالکلی (Pa)،  $n_H$  شاخص رفتار جریان مدل هرشل بالکلی (بدون بعد) و  $k_H$  شاخص قوام مدل هرشل بالکلی ( $Pa \cdot s^n$ ) است.

$$\text{رابطه (۴) مدل بینگهام} \quad \sigma = \sigma_0 + \eta_B \gamma$$

در این رابطه  $\sigma$  تنش برشی (Pa)،  $\gamma$  سرعت برشی ( $S^{-1}$ )،  $\sigma_0$  تنش تسلیم مدل بینگهام (Pa) و  $\eta_B$  ویسکوزیته پلاستیک مدل بینگهام ( $Pa \cdot s$ ) است.

$$\text{رابطه (۵) مدل کاسون} \quad \sigma^{0.5} = \sigma_{0C}^{0.5} + k_C(\gamma)^{0.5}$$

در این رابطه  $\sigma$  تنش برشی ( $Pa^{0.5}$ )،  $\gamma$  سرعت برشی ( $S^{-1}$ )،  $\sigma_0$  تنش تسلیم مدل کاسون ( $Pa^{0.5}$ ) و  $k_C$  شاخص قوام مدل کاسون ( $Pa \cdot s^n$ ) است.

## ۲-۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

نمونه‌های مختلف با استفاده از طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. هر آزمون در سه تکرار انجام شد. میانگین داده‌ها با استفاده از روش آنوا و نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ نسخه تجزیه و تحلیل شد و برای رسم نمودارها از نرم افزار اکسل نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

با توجه به مقادیر بدست آمده از پارامترهای میزان رطوبت، فعالیت آبی، میزان آنتوسیانین، حلالیت پودر و همچنین

ویسکوزیته با افزایش درجه برش نیز در مورد این نمونه ها با سرعت بیشتری صورت میگیرد؛ با توجه به اثر افزایش درجه برش بر بیشتر کردن هم راستایی مولکولها و افزایش اصطکاک داخلی و در نتیجه کاهش ویسکوزیته ماست، میتوان چنین استنباط نمود که استفاده از سدیم کازئینات بعنوان ماده دیواره در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران در ترکیب موجب تقویت اثرات مذکور میشود. بروز چنین رفتاری به این دلیل است که مولکولها در درجه برش های پایین به صورت نامنظم آرایش پیدا میکنند و تنها به صورت جزئی هم راستا میباشند که به ایجاد ویسکوزیته بالا منجر میشود. هنگامی که درجه برش افزایش می یابد، هم راستایی مولکولها بیشتر میشود و در نتیجه اصطکاک داخلی افزایش یافته و ویسکوزیته کاهش می یابد. از آن جایی که بیشترین اتصالات بین مولکولی در ابتدای اعمال درجه برش شکسته میشوند، کاهش ویسکوزیته ظاهری در شروع آزمون شدیدتر بوده و پس از آن به تدریج کاهش می یابد تا جایی که تقریباً ثابت میگردد.

بررسی نتایج نشان داد که ویسکوزیته تیمار کنترل به طور معنی داری از ویسکوزیته تمام نمونه ها پایین تر بود که دلیل آن را میتوان به نقش مهم سدیم کازئینات در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران در افزایش ویسکوزیته ماست نسبت داد که به دلیل توانایی بهتر در برقراری پیوند با آب و تشکیل شبکه ژلی می باشد. مهمترین نقش پایدارکننده ها در ماست، ایجاد قوام و پیکره مناسب در محصول است. افزایش درصد سدیم کازئینات در نمونه های ماست، روند تغییرات ویسکوزیته در برابر درجه برش را از نمونه شاهد دورتر کرد. مقایسه نمودار تنش برشی در مقابل درجه برش برای نمونه های آزمایشی و نمونه شاهد نشان داد که با افزایش درصد در ترکیب تا سطح ۰/۳ درصد، شیب منحنی تغییرات تنش برشی نسبت به درجه برش افزایش می یابد. به این معنی که در یک درجه برش معین، تنش برشی به کار رفته در مورد

محاسبه شاخص کار و ضریب هاسنر برای نمونه های شاهد و نسبت های مختلف دیواره به هسته و در نظر گیری این نکته که پودر نهایی ریزپوشانی شده بایستی جریان پذیری مطلوب و بهم پیوستگی پایینی داشته باشد تا بتواند بخوبی در محصول نهایی پخش و پراکنده شود و همچنین میزان آنتوسیانین آن بالا باشد و مقادیر رطوبت و فعالیت آبی کمی داشته باشد و حلالیت مناسبی داشته باشد، لذا نمونه نسبت هسته به دیواره ۷/۱ بعنوان بهترین نمونه انتخاب شد [۱۱] و جهت بکارگیری در محصول ماست مورد استفاده قرار گرفت.

### ۳-۱- بررسی خصوصیات رئولوژیکی ماست

ویسکوزیته مهم ترین ویژگی رئولوژیکی مایعات است. ماست یک سیال غیر نیوتنی، سودوپلاستیک<sup>۷</sup> است و ویسکوزیته آن با افزایش سرعت برشی، کاهش می یابد. بنابراین برای تعیین ویسکوزیته ماست، مشخص کردن سرعت برشی اهمیت دارد. برای یک سیال سودوپلاستیکی (رقیق شونده با برش) مثل ماست، ویسکوزیته ظاهری با افزایش سرعت برشی، کاهش می یابد [۱۷]. ویسکوزیته ویژگی است که در ایجاد بافت و قوام مطلوب تاثیر زیادی دارد و برای ایجاد یک ویسکوزیته مناسب، ترکیب، غلظت و کیفیت مواد اولیه مخلوط نقش تعیین کننده ای دارد [۱۸].

رئوگرام های به دست آمده برای نمونه های ماست، در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده اند. بر اساس آزمایش های اولیه تمام نمونه های مورد مطالعه، مستقل از زمان و غیر نیوتنی بودند. رفتار غیر نیوتنی ماست پیش از این توسط محققین دیگر گزارش شده بود [۱۹ و ۲۰].

روند تغییرات ویسکوزیته و تنش برشی در برابر درجه برش بیانگر رفتار سودوپلاستیک (شل شونده با برش) اکثر ماست ها بود؛ یعنی ویسکوزیته ظاهری با افزایش درجه برش کاهش یافت (شکل ۱). ویسکوزیته اولیه در مورد نمونه های حاوی مقدار بیشتر سدیم کازئینات بالاتر بوده و روند کاهش

<sup>۷</sup> - Pseudoplastic

گلبرگ زعفران از سایر نمونه ها کمتر و شباهت زیادی به نمونه شاهد داشت.

نمونه با درصد بالاتر، بیشتر است (شکل ۲). شیب تغییرات منحنی مذکور در مورد نمونه حاوی ۰/۱ درصد سدیم کازئینات بعنوان ماده دیواره در پودر ریزپوشانی شده عصاره

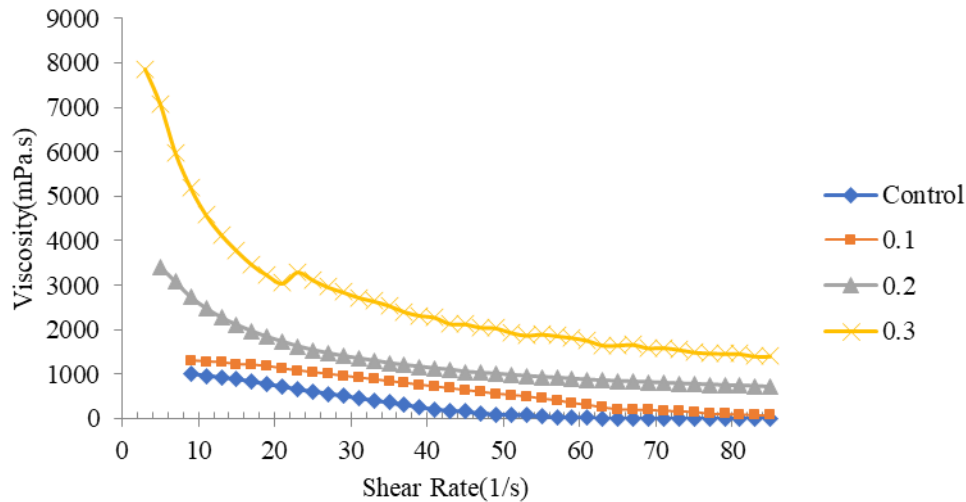


Fig1. Viscosity versus shear rate of yogurt samples containing different percentages of sodium caseinate as the wall material of encapsulated saffron petal extract

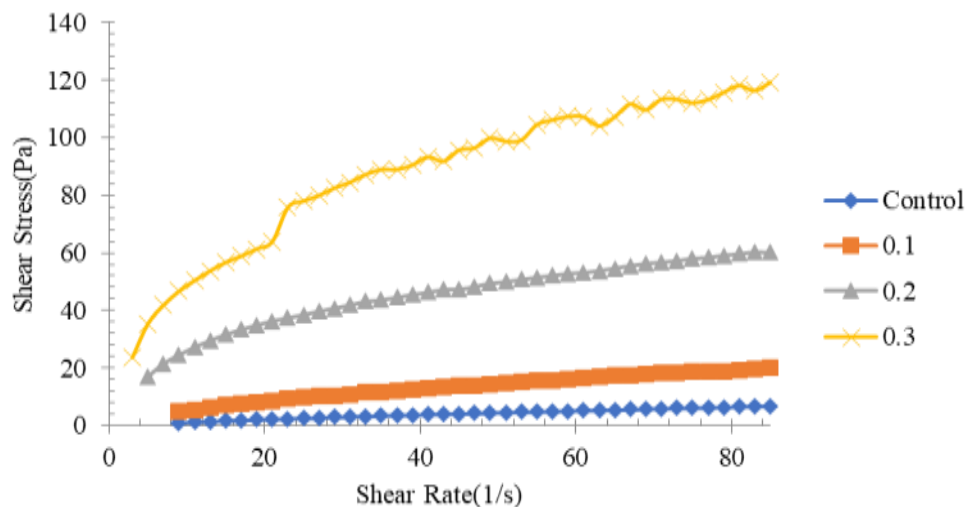


Fig2. Shear stress versus shear rate of yogurt samples containing different percentages of sodium caseinate

متداول شامل قانون توان و هرشل بالکلی برای مدلسازی و توصیف رفتار جریان نمونه های ماست استفاده شد. برای انتخاب بهترین مدل، ضرایب تبیین ( $R^2$ ) برای هر مدل محاسبه شدند و چون این دو مدل بالاترین ضریب تبیین و کمترین میانگین مجذورات خطا را داشتند، بعنوان بهترین مدل ها در نظر گرفته شدند.

as the wall material of encapsulated saffron petal extract

### ۳-۱-۱- انتخاب مدل رئولوژیکی مناسب

با توجه به غیر نیوتنی بودن تمام نمونه های تولید شده ماست، در این تحقیق از دو مدل رئولوژیکی مستقل از زمان

## ۳-۱-۲- پارامترهای رئولوژیکی

نتایج رفتار جریانی در مدل قانون توان (جدول ۱) و مدل هرشل بالکللی (جدول ۲) برای همه تیمارها نشان داد که نمونه های تولید شده ماست یک سیال سودوپلاستیک یا رقیق شونده با برش است و ویسکوزیته آن با افزایش سرعت برشی، کاهش یافت، این نتایج مشابه با نتایج سایر محققین بود [۱۹ و ۲۰].

۳-۱-۳- شاخص رفتار جریان<sup>۱</sup>

شاخص رفتار جریان در همه نمونه ها کمتر از یک بود که موید رفتار رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) مخلوط هاست. در واقع عامل تقویت رفتار شل شونده با برش، کاهش شاخص رفتار جریان میباشد. به عبارت دیگر افزودن سدیم کازئینات و افزایش آن تغییری در خاصیت شل شوندگی آن با برش ایجاد نکرد. در مطالعات پیشین به طبیعت سودوپلاستیک ماست اشاره شده است. کاهش شاخص رفتار جریان در اثر افزایش غلظت سدیم کازئینات در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران در ماست، به دلایل زیر رخ می دهد:

افزایش غلظت سدیم کازئینات، منجر به افزایش شبکه های پروتئینی پیچیده، افزایش تعاملات بین مولکولی و ایجاد ساختارهای سه بعدی متراکم می شود. این ساختارها هنگام برش (هم زدن یا جریان یافتن) به راحتی می شکنند، بنابراین ویسکوزیته کاهش شدیدتری دارد، یعنی شاخص  $n$  کاهش می یابد [۲۱].

ریزپوشانی با سدیم کازئینات باعث ورود ذرات معلق بیشتر به سیستم ماست می شود. این ذرات با ماتریس ماست برهم کنش دارند و یک ساختار غلیظتر، ناهمگن تر و حساس تر به برش ایجاد می کنند. در نتیجه، با افزایش نرخ برش، افت ویسکوزیته شدیدتر بوده و  $n$  کمتر می شود. سدیم کازئینات خاصیت پایدارکننده، ژل کننده و افزایش دهنده ویسکوزیته دارد. افزایش آن سبب افزایش ویسکوزیته ظاهری ولی کاهش شاخص رفتار جریان می شود. یعنی سیستم بیشتر به حالت *shear-thinning* نزدیک می شود. لذا افزایش غلظت سدیم کازئینات در ریزپوشانی، با افزایش ساختارهای پروتئینی و افزایش تعاملات بین ذرات در ماست، باعث تقویت رفتار شبه پلاستیک شده و در نتیجه باعث کاهش شاخص رفتار جریان ( $n$ ) می شود.

Table 1- Flow behavior index, consistency coefficient, and correlation coefficient for the Power Law model of yogurt samples containing different percentages of sodium caseinate as the wall material of encapsulated saffron petal extract

Sample	Flow behavior index	Consistency coefficient (Pa. s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>
control	0.39	27.20	0.99
0.1	0.32	33.27	0.99
0.2	0.23	42.77	0.99
0.3	0.21	56.85	0.98

Table 2- Flow behavior index, consistency coefficient, yield stress, and correlation coefficient for the Herschel-Bulkley model of yogurt samples containing different percentages of sodium caseinate as the wall material of encapsulated saffron petal extract

Sample	Flow behavior index	Consistency coefficient (Pa. s <sup>n</sup> )	Yield stress (Pa)	R <sup>2</sup>
control	0.51	41.39	22.26	0.99
0.1	0.41	49.64	27.19	0.99
0.2	0.37	66.56	44.01	0.99
0.3	0.29	71.80	56.76	0.99

1-Flow Behavior Index,  $n$

۳-۱-۴- ضریب قوام<sup>۱</sup>

ضریب قوام ملاکی برای اندازه گیری طبیعت ویسکوز مواد غذایی است و شاخص بزرگی ویسکوزیته ظاهری است. با افزودن سدیم کازئینات ضریب قوام نیز مانند ویسکوزیته ظاهری افزایش یافت (جدول ۱) که میتواند به دلیل افزایش تعداد مولکول های با وزن مولکولی بالا در فاز مایع و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر جریان باشد. ضمن اینکه افزودن سدیم کازئینات به دلیل پیوند با آب و تشکیل شبکه شبه ژل با دیگر ترکیبات، میتواند خواص رئولوژیکی ماست را اصلاح کند.

با توجه به جدول، ضریب قوام نمونه شاهد از سایر نمونه ها کمتر است. افزایش درصد سدیم کازئینات به میزان جزئی باعث افزایش ضریب قوام گردید اما با افزایش درصد از ۰/۲ به ۰/۳ درصد، یک افزایش ناگهانی در ضریب قوام ( از ۴۲/۷۷ به ۵۶/۸۵ ) مشاهده شد و به این ترتیب بالاترین مقدار ضریب قوام برای نمونه حاوی میزان ۰/۳ درصد کازئینات سدیم بعنوان دیواره پودر ریزپوشانی شده عصاره گلبرگ زعفران به دست آمد. بنابراین افزایش غلظت سدیم کازئینات به عنوان ماده دیواره در فرآیند ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران، منجر به افزایش اندیس قوام یا شاخص قوام ماست شد.

هنگامی که از سدیم کازئینات به عنوان ماده دیواره در ریزپوشانی استفاده می شود، بخشی از آن ممکن است در ماتریس ماست آزاد شده یا با آن برهم کنش ایجاد کند. این برهم کنش ها باعث افزایش شبکه پروتئینی و به دنبال آن افزایش قوام ماست می شود. افزایش مقدار ذرات ریزپوشانی شده با سدیم کازئینات باعث افزایش فاز جامد در سیستم می شود. این ذرات مانند پرکننده های ریز عمل کرده و باعث افزایش مقاومت در برابر جریان (یعنی افزایش شاخص قوام) می شوند. سدیم کازئینات با توانایی نگهداری آب، به کاهش مهاجرت آب در ماست کمک می کند. این

موضوع سبب ایجاد بافت چسبنده تر، یکنواخت تر و غلیظ تر در ماست می شود [۲۲].

افزایش غلظت سدیم کازئینات در ریزپوشانی، باعث افزایش میزان پروتئین های عملکردی در ماست می شود که با بهبود شبکه ساختاری، افزایش ویسکوزیته و کاهش مهاجرت آب، اندیس قوام ماست را افزایش می دهد.

در یک مطالعه منتشر شده ساخت میکروکپسول هایی با استفاده از سدیم کازئینات و پکتین به عنوان حامل عصاره زعفران بررسی شده است. یافته ها نشان دادند که ویژگی های رئولوژیک (از جمله مدول ها) به دلیل درهم تنیدگی ساختاری پلیمرها افزایش یافته اند که بهبود خواص ساختاری و پایداری عصاره زعفران را در بر دارد [۲۱].

۳-۱-۵- تنش تسلیم<sup>۲</sup>

تنش تسلیم حداقل تنش لازم برای شروع جریان ماده است. دانستن تنش تسلیم برای طراحی فرآیندهای غذایی، ارزیابی حسی و مدلسازی مفید میباشد. همانطور که در جدول ۲ مشاهده میشود، با افزایش سطح سدیم کازئینات تنش تسلیم نیز به طور معناداری افزایش می یابد. افزایش غلظت سدیم کازئینات به عنوان ماده دیواره در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران در ماست، موجب افزایش تنش تسلیم شد. با افزایش سدیم کازئینات، ساختار داخلی ماست متراکم تر و منسجم تر می شود. شبکه ای قوی تر در برابر جریان یا تغییر شکل ایجاد می شود. بنابراین، نیروی بیشتری برای شروع حرکت ماست نیاز است که خود دلیلی است بر افزایش مقادیر تنش تسلیم. ریزپوشانی عصاره زعفران با سدیم کازئینات منجر به افزایش فاز جامد پراکنده در ماست می شود. این ذرات با ماتریس ژل مانند ماست درگیر شده و اصطکاک داخلی را افزایش می دهند. در نتیجه، ماست مقاومت بیشتری در برابر جاری شدن نشان می دهد و لذا تنش تسلیم بیشتر می شود.

سدیم کازئینات خاصیت آب دوستی دارد و مانع از جدا شدن سرم می شود. این موضوع باعث حفظ یکنواختی ساختار ژلی در مقیاس میکروسکوپی می شود. در نتیجه، ساختار

1- Consistency Coefficient,  $k$ 2- Yield Stress,  $C_0$

ظاهری ممکن است مشکل ساز شود [۲۳]. پروتئین‌ها (خصوصاً کازئین) نقش مهمی در تشکیل شبکه ژلی دارند. سدیم کازئینات با افزایش محتوای پروتئین و خاصیت نگهداری آب، مانع از جدا شدن آب پنیر می‌شود. سدیم کازئینات باعث ایجاد شبکه‌ای قوی‌تر در ماتریس ماست شده و ژل پایدارتری را شکل می‌دهد [۲۴]. باعث ایجاد ساختاری یکنواخت‌تر با ذرات ریزپوشانده شده می‌شود که مانع مهاجرت فاز مایع است. ذرات ریزپوشانی شده با دیواره سدیم کازئینات، در برابر هم‌زدن حساسیت کمتری نشان می‌دهند و از ساختار پش‌تیبانی می‌کنند [۴].

نتایج آماری حاصل از بررسی اثر غلظت‌های مختلف سدیم کازئینات بعنوان ماده دیواره عصاره گلبرگ زعفران ریزپوشانی شده بر میزان آب اندازی ماست در جدول ۳ نشان داده شده است.

Table 3-Syneresis of yogurt samples containing different percentages of sodium caseinate as the wall material of encapsulated saffron petal extract

Sample	Syneresis (%)
Control	25.59 ± 0.06 <sup>A</sup>
0.1	24.58 ± 0.09 <sup>AB</sup>
0.2	23.30 ± 0.74 <sup>B</sup>
0.3	21.45 ± 0.80 <sup>C</sup>

Different letters within the same column indicate significant differences at the 95% confidence level. Values are expressed as mean ± standard deviation (n = 3).

بیشتر با ماتریس ژلی داشته و مانع از آزاد شدن آب پنیر می‌شوند. غلظت‌های بالاتر سدیم کازئینات در ماده دیواره، موجب تقویت پیوندهای بین‌مولکولی در بافت ماست می‌شود. این شبکه منسجم‌تر، از تجزیه ساختار در حین نگهداری جلوگیری کرده و سینرزیس را کاهش می‌دهد. استفاده از سطوح بالاتر سدیم کازئینات باعث افزایش غلظت کل جامدات (خصوصاً پروتئینی) در ماست می‌شود. ویسکوزیته بالا موجب پایداری بهتر در برابر نشست فاز مایع می‌شود [۲۵ و ۲۶]. لذا سدیم کازئینات همچنانکه خواص رئولوژیکی (ویسکوزیته، قوام) ماست را بهبود بخشید (شکل

حاصل مستحکم‌تر بوده و برای آغاز حرکت آن به تنش اولیه بیشتری نیاز است [۲۱]. لذا افزایش غلظت سدیم کازئینات باعث ایجاد ساختار داخلی قوی‌تر و پیوسته‌تر در ماست می‌شود. این ساختار نیاز به تنش بیشتری برای شروع جریان دارد، به همین دلیل تنش تسلیم افزایش می‌یابد.

### ۳-۲- میزان آب اندازی ماست

آب اندازی یا سینرزیس<sup>۳</sup> پدیده‌ای است که در فرآورده‌های لبنی به ویژه ماست دیده می‌شود و به معنای جدا شدن فاز مایع آب پنیر از ساختار ژلی محصول است. این پدیده از نظر کیفی و صنعتی اهمیت زیادی دارد [۲۰]. سینرزیس بیش از حد معمول می‌تواند نشانه‌ای از ساختار ژلی ضعیف ماست باشد. مقدار کم سینرزیس طبیعی است و نشان‌دهنده یک ساختار طبیعی و زنده است. اما مقدار زیاد آن به دلیل بافت شل و آبکی، کاهش رضایت مصرف‌کننده و کاهش ماندگاری

همچنانکه داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد، بین نمونه شاهد و غلظت ۰/۱٪ سدیم کازئینات اختلاف آماری معنی داری مشاهده نشد. اما نمونه شاهد با بقیه نمونه‌ها از نظر آماری تفاوت معنی داری نشان دادند. نمونه حاوی ۰/۳٪ سدیم کازئینات کمترین میزان آب اندازی را بین نمونه‌ها نشان داد که البته از نظر آماری تفاوت معنی داری با نمونه ۰/۲ و با سایر نمونه‌ها نشان داد ( $p < 0.05$ ).

افزایش غلظت سدیم کازئینات در فرمولاسیون ریزپوشانی باعث افزایش توانایی نگهداری رطوبت در ساختار ماست می‌شود. ذرات ریزپوشانی شده با غلظت بالاتر، سطح تماس

مانند نوع و مقدار پروتئین‌ها (مثلاً کازئین یا سدیم کازئینات)، PH نهایی ماست، شرایط فرآیند (دما، زمان انکوباسیون، هموژنیزاسیون) و مواد افزودنی (پلی ساکاریدها، صمغ‌ها، مواد ریزپوشانی‌شده) است. اندازه‌گیری سختی به تولیدکنندگان کمک می‌کند تا ثبات محصول را در طول زمان حفظ کنند [۲۸].

ماست با سختی مناسب معمولاً در برابر جدشدگی سرم<sup>۲</sup> مقاوم‌تر است. سختی پایین می‌تواند نشان‌دهنده ساختار سست و کاهش عمر ماندگاری بافتی ماست باشد. لذا سختی یکی از شاخص‌های کلیدی برای تعیین کیفیت بافتی ماست، رضایت مصرف‌کننده و کنترل فرآیند تولید در صنایع لبنی است. افزایش یا کاهش غیرمناسب سختی می‌تواند مستقیماً بر پذیرش حسی و پایداری محصول در طول زمان اثرگذار باشد [۲۸].

نتایج آماری حاصل از بررسی اثر غلظت‌های مختلف سدیم کازئینات بعنوان ماده دیواره عصاره گلبرگ زعفران ریزپوشانی شده بر میزان سختی ماست در جدول ۴ نشان داده شده است.

Table 4- Hardness of yogurt samples containing different percentages of sodium caseinate as the wall material of encapsulated saffron petal extract

Sample	Hardness (N/m)
Control	1070.17 ± 924.59 <sup>C</sup>
0.1	1151.05 ± 873.21 <sup>C</sup>
0.2	9725.10 ± 567.12 <sup>B</sup>
0.3	22446.12 ± 776.89 <sup>A</sup>

Different letters within the same column indicate significant differences at the 95% confidence level. Values are expressed as mean ± standard deviation (n = 3).

و نمونه ۰/۱٪ اختلاف آماری معنی داری داشتند و نمونه ۰/۳٪ بیشترین میزان سختی را نشان داد ( $p < 0/05$ ). نقش سدیم کازئینات به‌عنوان ماده دیواره در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر پارامتر سختی<sup>۱</sup> در ماست داشته باشد. سدیم کازئینات دارای توانایی

۱ و داده‌های جداول ۱ و ۲) و در نتیجه سینریزیس را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بنابراین، استفاده از سدیم کازئینات به‌عنوان ماده دیواره در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران نه تنها موجب پایداری بیشتر عصاره می‌شود، بلکه با بهبود ساختار ژل و افزایش توانایی نگهداری آب در ماست، سینریزیس را به‌طور مؤثر کاهش می‌دهد.

لذا با افزایش غلظت سدیم کازئینات در فرمول ریزپوشانی از ۰/۱٪ تا ۰/۳٪ میزان سینریزیس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که در غلظت‌های بالا، آب‌اندازی تقریباً به ۲۰ درصد مقدار اولیه رسید.

### ۳-۳- خصوصیات بافتی ماست

پارامتر سختی در ماست یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های بافتی و مکانیکی محصول است که هم در ارزیابی کیفی و هم در پذیرش مصرف‌کننده نقش اساسی دارد. سختی در زمینه آنالیز بافتی به مقدار نیروی لازم برای وارد کردن اولین تغییر شکل در ساختار ماست اشاره دارد. در آزمون‌های بافت سنجی<sup>۱</sup>، سختی معمولاً بیشترین نیروی ثبت‌شده در فشردن اولیه نمونه ماست است [۲۷]. سختی تحت تأثیر عواملی

همچنانکه داده‌های جدول ۴ نشان می‌دهد، نمونه شاهد و نمونه حاوی ۰/۱٪ سدیم کازئینات پایین‌ترین میزان سختی را دارند که از نظر آماری اختلاف معنی داری بین آنها مشاهده نشد. نمونه‌های ۰/۲٪ و ۰/۳٪ سدیم کازئینات با نمونه شاهد

1 -Firmness

1 -Texture Profile Analysis - TPA

2- Whey separation

ماست می‌شود؛ این افزایش به دلیل اثر پرکنندگی ذرات ریزپوشانی شده و تعامل پروتئینی بین سدیم کازئینات و ماتریس پروتئینی ماست است. همچنین می‌تواند باعث افزایش یکنواختی بافت، کاهش آب‌اندازی و بهبود خواص رئولوژیکی ماست شود.

### ۳-۴- میزان آنتوسیانین ماست

آنتوسیانین‌ها ترکیباتی بسیار حساس به نور، PH، دما و اکسیژن هستند و در محیط ماست (یعنی PH اسیدی، شرایط نگهداری سرد ممکن است به سرعت تخریب شوند. بنابراین، برای حفظ این ترکیبات مفید در ماتریس غذایی مثل ماست، ریزپوشانی یک راهکار مؤثر است. نقش سدیم کازئینات به‌عنوان ماده دیواره در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران، در میزان آنتوسیانین موجود در ماست بسیار کلیدی و مؤثر است. نتایج آماری حاصل از بررسی اثر غلظت‌های مختلف سدیم کازئینات به‌عنوان ماده دیواره عصاره گلبرگ زعفران ریزپوشانی شده بر میزان آنتوسیانین ماست در جدول ۵ نشان داده شده است.

خوبی در ایجاد ماتریس‌های پایدار و امولسیون‌های پایدار است. هنگام استفاده به‌عنوان ماده دیواره، ذرات ریزپوشانی شده را پایدارتر و یکنواخت‌تر در ماتریس ماست توزیع می‌کند [۲۹ و ۳۰]. سدیم کازئینات از تخریب ترکیبات زیست‌فعال در عصاره گلبرگ زعفران (مثل آنتوسیانین‌ها) جلوگیری می‌کند، که می‌تواند در خواص رئولوژیکی ماست نیز اثرگذار باشند. ذرات ریزپوشانی شده با سدیم کازئینات ممکن است به‌صورت پرکننده<sup>۲</sup> در ماتریس ژلی ماست عمل کنند، که منجر به افزایش چگالی و استحکام ساختار می‌شود [۲۹]. سدیم کازئینات به دلیل خاصیت پروتئینی خود، با ژل پروتئینی ماست (کازئین و آب پنیر) برهم‌کنش دارد و شبکه ژل را تقویت می‌کند [۳۱]. افزایش سختی معمولاً با کاهش آب‌اندازی همراه است (که مویدی است بر داده‌های جدول ۳)، چون ساختار شبکه‌ای ماست قوی‌تر می‌شود. ریزپوشانی یکنواخت‌تر عصاره زعفران (به کمک سدیم کازئینات) از بروز نقاط ضعف در ماتریس ژل جلوگیری می‌کند.

لذا سدیم کازئینات با ایفای نقش به‌عنوان ماده دیواره در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران، باعث افزایش سختی

Table 5- Anthocyanin content of yogurt samples containing different percentages of sodium caseinate as the wall material of encapsulated saffron petal extract

Sample	Anthocyanin (mg/100 mL)
Control	Not detected
0.1	770.136 ± 38 <sup>A</sup>
0.2	890.810 ± 24 <sup>A</sup>
0.3	915.240 ± 80 <sup>A</sup>

Different letters within the same column indicate significant differences at the 95% confidence level. Values are expressed as mean ± standard deviation (n = 3).

ماتریس، مانع تماس مستقیم آنتوسیانین با اکسیژن و نور می‌شود و در نتیجه از تجزیه آن‌ها جلوگیری می‌کند. سدیم کازئینات دارای قابلیت بالایی در اتصال به ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌ها است [۳۲ و ۲۱]، که باعث می‌شود میزان بیشتری از آنتوسیانین وارد کپسول‌ها شود و در نتیجه در

همچنانکه داده‌های جدول ۵ نشان می‌دهد، بین نمونه‌های سطوح دیواره‌ای سدیم کازئینات اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ( $p < 0/05$ ).

سدیم کازئینات با ساختار پروتئینی خود، می‌تواند آنتوسیانین‌ها را درون ماتریسی محافظ محصور کند. این

اکسیدانی میباشد. افزایش غلظت سدیم کازئینات به عنوان ماده دیواره در فرآیند ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران و افزودن آن به ماست، تأثیر قابل توجهی در بهبود ویژگیهای فیزیکوشیمیایی محصول نهایی داشت. با افزایش غلظت این ترکیب، پایداری ساختار ریزکپسولها بیشتر شده و آزادسازی کنترل شده آنتوسیانینها در ماست، موجب افزایش میزان این ترکیبات زیست فعال شد. همچنین، سدیم کازئینات با ایجاد شبکه ای منسجم تر در بافت ماست، به کاهش سینرزیس کمک کرده و با افزایش مقاومت ساختاری، سختی بافت را بهبود بخشید. از سوی دیگر، غلظت بالاتر این ماده سبب افزایش ویسکوزیته و بروز رفتار رقیق شونده با برش بیشتر شد که نشان دهنده خصوصیات رئولوژیکی مطلوب تر در محصول نهایی است.

#### دسترسی به داده ها

تمام داده های تولید شده در این مطالعه، در متن مقاله گنجانده شده است

#### تضاد منافع

نویسندگان اعلام می کنند که هیچ تضاد منافع مالی یا روابط شخصی که بر نتایج این مقاله تأثیرگذار باشد، ندارند.

#### بیانیه تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی از بخش های دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است

#### مشارکت نویسندگان

عطیه جلیلیان راستگو: انجام آزمایشات، تحقیق و بررسی، مدیریت داده ها، نوشتن پیش نویس اصلی، حجت کاراژیان: مدیریت داده ها، مدیریت پروژه، نظارت، اعتبارسنجی، روش شناسی، نوشتن - بررسی و ویرایش

#### ۵- منابع

[1] Rahaiee, S., Moini, S., Hashemi, M., & Shojaosadati, S.A. (2015). Evaluation of antioxidant activities of bioactive compounds and various extracts obtained from saffron (*Crocus sativus* L.): a review.

ماست نیز آنتوسیانین بیشتری حفظ شود. کازئینات سدیم در محیط اسیدی ماست، می تواند آنتوسیانینها را به تدریج آزاد کند، به جای آزادسازی ناگهانی و این موضوع باعث پایداری بیشتر رنگ و خاصیت آنتی اکسیدانی ماست در طول زمان نگهداری می شود. آنتوسیانینهای آزاد ممکن است با پروتئینها یا چربی های ماست واکنش دهند و تخریب شوند. اما وقتی در قالب ریزپوشانی با سدیم کازئینات وارد ماست می شوند، واکنش دهی آنها کاهش یافته و پایداری افزایش می یابد. افزایش غلظت سدیم کازئینات به عنوان ماده دیواره در ریزپوشانی عصاره گلبرگ زعفران تأثیر مستقیمی بر میزان آنتوسیانین موجود در ماست داشته است.

همچنانکه داده های جدول ۵ نشان می دهد افزایش غلظت سدیم کازئینات بعنوان ماده دیواره در پودر ریزپوشانی شده عصاره گلبرگ زعفران در ماست منجر به حفظ میزان آنتوسیانینها شده است. با افزایش غلظت سدیم کازئینات، ضخامت و استحکام لایه دیواره اطراف عصاره بیشتر می شود، که منجر به محصور شدن بهتر آنتوسیانینها در ذرات میکروکپسول و در نتیجه کاهش نشت یا تجزیه آنها در ماتریس ماست می گردد و در نتیجه میزان آنتوسیانین حفظ شده در ماست افزایش می یابد. لایه ضخیم تر و متراکم تر ایجاد شده با سدیم کازئینات بیشتر، مانع نفوذ اکسیژن و نور می شود که از عوامل اصلی تجزیه آنتوسیانینها هستند (لی و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین ممکن است با کاهش نرخ رهاسازی، رهاسازی تدریجی و طولانی تری از آنتوسیانینها در ماتریس ماست اتفاق بیفتد. غلظت بالای سدیم کازئینات می تواند به عایق بندی قوی تر و در نتیجه کاهش تماس مستقیم آنتوسیانین با PH پایین (علی الخصوص در فرآورده ای نظیر ماست) کمک کند.

#### ۴- نتیجه گیری نهایی

گلبرگ زعفران به عنوان یک محصول جانبی در فرآوری زعفران است که منبع غنی از ترکیبات زیست فعال و آنتی *Journal of Food Science and Technology*, 52(4),1881-8. doi: 10.1007/s13197-013-1238-x. Epub 2014 Mar 11. PMID: 25829569; PMCID: PMC4375186.

- [2] Bakshi, R. A., Sodhi, N. S., Wani, I. A., Khan, Z. S., Dhillon, B., & Gani, A. (2022). Bioactive constituents of saffron plant: extraction, encapsulation and their food and pharmaceutical applications. *Applied Food Research*, 2(1), 100076.
- [3] Korhonen, H. (2002). Technology option for new nutritional concepts. *International Journal of Dairy Technology*, 55(2), 79-88.
- [4] Fang, Z., & Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10), 510–523.
- [5] Goyal, M., & Sharma, V. (2011). Caseinate based microencapsulation systems for delivery of food bio actives. *Journal of Food Science and Technology*, 48(2), 152–157.
- [6] Kaur, H., Kaur, G., & Ali, S. A. (2022). Dairy-Based Probiotic-Fermented Functional Foods: An Update on Their Health-Promoting Properties. *Fermentation*, 8(9), 425. <https://doi.org/10.3390/fermentation8090425>
- [7] Khalili, A., Tavakoilpour, H., Roozbeh-Nasiraie, L., & Kalbasi-Ashtari, A. (2021). Research Article: Comparison of free and nano-encapsulated Safran (*Crocus sativus* L.) petal extract effects on some quality indexes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) filets. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20 (4) :961-985
- [8] Popescu, L., Cojocari, D., Lung, I., Kacso, I., Ciorîță, A., Ghendov-Mosanu, A., Balan, G., Pinte, A., & Sturza, R. (2023). Effect of microencapsulated basil extract on cream cheese quality and stability. *Molecules*, 28(8), 3305.
- [9] Cerdá-Bernad, D., Valero-Cases, E., Pastor, J.J., & Frutos, M.J. (2023). Microencapsulated saffron floral waste extracts as functional ingredients for antioxidant fortification of yogurt: Stability during the storage. *LWT*, 184, 114976.
- [10] Bayram, O.Y., Kinik, O., & Büyükkileci, C. (2025). Functional and phenolic characterization of medicinal plant-enriched strained yogurt: bioactivity and storage stability. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19, 7557 - 7570.
- [11] Jalilian Rastgou, A., & Karazhiyan, H. (2025). Microencapsulation of Saffron Petal Extract Using Sodium Caseinate: Physicochemical Properties and Stability. *Saffron Agronomy & Technology*, Submitted manuscript.
- [12] Akgün, D., M. Gültekin-Özgülven, A. Yücepe, et al. (2020). Stirred Type Yoghurt Incorporated with Sour Cherry Extract in Chitosan Coated Liposomes. *Food Hydrocolloids*, 101, 105532. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105532>.
- [13] de Campo, C., Queiroz Assis, R., Marques da Silva, M., Haas Costa, T. M., Paese, K., Stanisquaski Guterres, S., de Oliveira Rios, A., & Hickmann Flôres, S. (2019). Incorporation of zeaxanthin nanoparticles in yogurt: Influence on physicochemical properties, carotenoid stability and sensory analysis. *Food chemistry*, 301, 125230. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125230>
- [14] Oladzaad Abbasabadi, N., Karazhiyan, H., & Keyhani, V., 2017, Addition of the chubak extract and egg white on biophysical properties of grape juice during evaporation process. *Journal of Food Process Engineering*, 40(5), 12538.
- [15] Lee, J., Rennaker, C. & Wrolstad, R. E. (2008). Correlation of two anthocyanin quantification methods: HPLC and spectrophotometric methods. *Food chemistry*, 110, 782-786.
- [16] Alace, M., & Karazhiyan, H. (2022). Physicochemical, Textural, Sensorial and Functional Properties of Ice Cream Containing Glucomannan Konjac as Stabilizer. *Journal of food science and technology (Iran)*, 19(123), 93-104. doi: 10.52547/fsct.19.123.93.
- [17] Minhas, K.S., Sidhu, J.S., Mudahar, G.S., & Singh, A.K. (2002). Flow behavior characteristics of ice cream mix made with buffalo milk and various stabilizers. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57: 25-40.
- [18] Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2013). *Ice Cream*. Springer Science & Business Media.
- [19] Behnia, A., Karazhiyan, H., Niazmand, R., & Mohammadi Nafchi, A. (2013) Rheological properties of low-fat yogurt containing cress seed gum. *Agricultural Sciences*, 4, 29-32. doi: 10.4236/as.2013.49B005.
- [20] Tamime, A.Y., & Robinson, R.K. (2007) *Tamime and Robinson's yoghurt*. 3rd Edition, Woodhead Publishing Limited and CRC Press, New York.
- [21] Ardestani, F., Haghghi Asl, A. & Rafe, A. (2024). Characterization of caseinate-pectin complex coacervates as a carrier for delivery and controlled-release of saffron extract. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11, 118. <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00647-0>
- [22] Rouillet, M., Clegg, P. S., & Frith, W. J. (2019). Viscosity of protein-stabilized emulsions: contributions of components and development of a semi-predictive model. *Journal of Rheology*, 63 (1).
- [23] Sodini, I., Remeuf, F., Haddad, S., & Corrieu, G. (2004). The relative effect of milk base, starter, and process on yogurt texture: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(2), 113–137.
- [24] Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavor encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(1), 1–21.
- [25] Lucey, J. A. (2001) The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. *Food Hydrocolloids*, 15, 603–608.
- [26] Shah N. P. (2000). Effects of milk-derived bio actives: an overview. *The British journal of nutrition*, 84 Suppl 1, S3–S10. <https://doi.org/10.1017/s000711450000218x>
- [27] Özmert Ergin, S., Gün, İ., Kara, R., Soyuçok, A., & Albayrak Karaoğlu, A. (2024). The

Physicochemical, Textural, Microbiological and Sensory Properties of Skimmed Buffalo Milk Yoghurt with Tragacanth Gum During Storage. *Food Technology Biotechnology*,62(2),205-217.

[28] Turgut T., & Diler A. (2025). Investigation of the physicochemical and textural properties of yogurt made from milk with different somatic cell count. *NanoEra*,5(1), 9-15

[29] Lu, Y., Zhang, B., Shen, H., Ge, X., Sun, X., Zhang, Q., Zhang, X., Sun, Z., & Li, W. (2022). Sodium Caseinate and Acetylated Mung Bean Starch for the Encapsulation of Lutein: Enhanced Solubility and Stability of Lutein. *Foods*, 11(1):65.

[30] Pudziuvelyte, L., Marksa, M., Jakstas, V., Ivanauskas, L., Kopustinskiene, D. M., & Bernatoniene, J. (2019). Microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* Herb Ethanolic Extract by Spray-Drying: Impact of Resistant-Maltodextrin Complemented with Sodium Caseinate, Skim Milk, and Beta-Cyclodextrin on the Quality of Spray-Dried Powders. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 24(8), 1461. <https://doi.org/10.3390/molecules24081461>

[31] Xie, S., Qu, P., Luo, S., & Wang, C. (2022). Graduate Student Literature Review: Potential uses of milk proteins as encapsulation walls for bioactive compounds. *Journal of dairy science*, 105(10), 7959–7971. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21127>

[32] Gorji, SG., Gorji, EG., & Mohammadi far, MA. (2014). Characterization of gum tragacanth (*Astragalus gossypinus*)/sodium caseinate complex coacervation as a function of pH in an aqueous medium. *Food Hydrocolloids*,34,161–8.



## Scientific Research

### Rheological and Textural Properties of Functional Yoghurt Containing Microencapsulated Saffron Petal Extract with Sodium Caseinate

Atie Jalilian Rastgou<sup>1</sup>, Hojjat Karazhiyan<sup>2\*</sup>

1- MSc, Department of Food Science and Technology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Department of Food Science and Technology, ToH.C., Islamic Azad University, Torbat Heydarieh, Iran

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

## Article History:

Received: 2026/01/08

Review: 2026/04/15

Accepted: 2026/04/18

## Keywords:

Functional yogurt;

Saffron petal;

Microencapsulation;

Rheological properties;

Textural properties;

Syneresis;

Anthocyanins

DOI: [10.48311/fsct.2026.118838.83029](https://doi.org/10.48311/fsct.2026.118838.83029)

\*Corresponding Author E-

[hojjat.karazhiyan@iau.ac.ir](mailto:hojjat.karazhiyan@iau.ac.ir)

Saffron petals, as a by-product of saffron processing, are a rich source of bioactive compounds, particularly anthocyanins; however, the high sensitivity of these compounds to environmental conditions limits their direct application in food products. The aim of this study was to evaluate the rheological and textural properties of functional yogurt enriched with sodium caseinate–microencapsulated saffron petal extract. For this purpose, saffron petal extract was microencapsulated using sodium caseinate at a wall-to-core ratio of 7:1 and incorporated into yogurt at levels of 0.1, 0.2, and 0.3%. Rheological properties, including apparent viscosity, shear stress, and flow behavior, were investigated using the Power Law and Herschel–Bulkley models. In addition, textural properties (hardness), syneresis, and anthocyanin content of the samples were evaluated. The results indicated that all samples exhibited non-Newtonian shear-thinning (pseudoplastic) behavior. Increasing the concentration of the microencapsulated powder significantly enhanced apparent viscosity, consistency coefficient, and yield stress. The addition of the microencapsulated extract improved yogurt texture by increasing hardness and significantly reducing syneresis. Moreover, sodium caseinate–based microencapsulation played an effective role in preserving anthocyanins within the yogurt matrix. Overall, the use of sodium caseinate–microencapsulated saffron petal extract can be considered an efficient approach to improving the rheological, textural, and functional properties of functional yogurt.