

## تأثیر سه گونه کتیرای ایرانی بر ویژگی‌های رئولوژیک و پایداری دوغ بدون چربی

الهام قربانی گرجی<sup>۱</sup>، محمد امین محمدی فر<sup>۲</sup>، حمید عزت پناه<sup>۳</sup>، امیرمحمد مرتضویان<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران  
 ۲- نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. پست الکترونیکی: mohamdif@ut.ac.ir  
 ۳- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران  
 ۴- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۱

تاریخ دریافت: ۸۹/۴/۱۴

## چکیده

**سابقه و هدف:** دوغ، نوشیدنی بومی ایرانی است که به دلیل pH پایین آن در طول مدت نگهداری آب می‌اندازد. در سال‌های اخیر، مطالعاتی در زمینه پایداری دوغ با استفاده از هیدروکلوئیدهای مختلف صورت گرفته است. هدف از این مطالعه، مقایسه تأثیر سه گونه مختلف کتیرای ایرانی (آستراگالوس گوسیپینوس، آستراگالوس فلوکوسوس و آستراگالوس راهنسیس) بر خصوصیات رئولوژیک و پایداری این نوشیدنی لبنی در مدت زمان نگهداری آن بود.

**مواد و روش‌ها:** نمونه‌های دوغ از ماست حاصل از شیر بدون چربی به دست آمد و محلول صمغ‌های مورد نظر به آن‌ها اضافه شد. میزان جدایی فازی در طول مدت نگهداری (۳۰ روز) توسط استوانه مدرج و توزیع اندازه ذرات در دمای محیط توسط تکنیک تفرق نور لیزر اندازه‌گیری شد. همچنین، آزمون‌های رئولوژیک پایا و ناپایا در دمای ۳۰°C و توسط رئومتر و در حالت کنترل نرخ برش (CSR) صورت گرفت. در نهایت، ارزیابی حسی در چهارچوب آزمون هدونیک پنج طبقه‌ای و با استفاده از ۳۰ ارزیاب آشنا به محصول انجام شد.

**یافته‌ها:** بیشترین پایداری در نمونه‌های حاوی صمغ کتیرا گونه آستراگالوس گوسیپینوس با غلظت ۰/۳ درصد در طول ۳۰ روز بود. همچنین، اطلاعات به دست آمده از آزمون توزیع اندازه ذرات نشان دهنده ریز شدن ذرات تجمع‌یافته بعد از افزودن صمغ و به خصوص گونه آستراگالوس گوسیپینوس صمغ کتیرا بود. از طرفی، گرانروی ظاهری نمونه دوغ حاوی این گونه، بیشتر از گونه‌های دیگر بود و حساسیت آن به افزایش فرکانس (در دامنه فرکانس ۰/۱ تا ۱۰ هرتز) بسیار کم بود که این موضوع در صنعت بسیار حائز اهمیت می‌باشد. ارزیاب‌های گروه ارزیابی حسی نمونه‌های حاوی این گونه را از همه جهات بهترین محصول تشخیص دادند.

**نتیجه‌گیری:** بالاتر بودن محتوای اسید اورونیک و میزان جزء نامحلول صمغ کتیرا در گونه آستراگالوس گوسیپینوس نسبت به دو گونه دیگر می‌تواند عاملی برای ایجاد یک دیسپرسیون کلوئیدی پایدارتر توسط این گونه در مقایسه با دو گونه دیگر در غلظت‌های مساوی باشد.

**واژگان کلیدی:** دوغ بدون چربی، پایداری، هیدروکلوئیدها، رئولوژی، صمغ کتیرا

## • مقدمه

اطلاق می‌شد که پس از رقیق سازی ماست پرچرب با آب و جداسازی چربی آن با استفاده از مشک بر جای می‌ماند. ولی امروزه، تولید صنعتی دوغ عموماً به صورت رقیق‌سازی ماست استاندارد شده با آب صورت می‌گیرد (۳).

به منظور تولید دوغ، شیر در معرض تیمار گرمایی، تخمیر، افزودن نمک و رقیق شدن قرار می‌گیرد. در حین تیمار گرمایی شیر، تجمع (aggregation) پروتئین‌های آب پنیر و برهم‌کنش

نوشیدنی‌های بر پایه شیر تخمیری (drinks based on fermented milk) در کشورهای مختلف تنوع فراوان و نام‌های متفاوتی دارند؛ از جمله، ماست نوشیدنی (drink yoghurt) در اروپا، کفیر و کومیس در خاورمیانه، ایران (Ayran) در ترکیه و دوغ در ایران (۱، ۲). کلمه "دوغ" از واژه فارسی "دوشیدن" اقتباس شده است و در لغت به معنای ماده حاصل از دوشیدن است. در گذشته "دوغ" به فرآورده‌ای

بیشتر به صورت دافعه فضایی به همراه جذب ثانویه پکتین است (۱۶). همچنین تحقیقات نشان داده‌اند که عوامل مختلفی مانند قدرت یونی، نسبت پروتئین به پلی‌ساکارید، pH و غلظت نهایی محصول بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی سیستم‌های پروتئین- پلی‌ساکارید تأثیر فراوانی دارند (۱۷). همچنین، افزودن نمک به محصولی مانند دوغ آب‌اندازی آن را از طریق افزایش پیوندهای پروتئین- پروتئین افزایش می‌دهد (۲۰-۱۸). صمغ کتیرا یکی از قدیمی‌ترین صمغ‌هایی است که توسط بشر شناسایی شده است. این صمغ تراوه خشک شده طبیعی حاصل از برخی گونه‌های *آستراگالوس* است و به عنوان یک هیدروکلوئید باکیفیت، در فهرست افزودنی‌های سالم یا GRAS (Generally Recognized As Safe) قرار دارد (۲۲، ۲۱). کتیرا به عنوان پایدارکننده، امولسیون کننده، قوام‌دهنده و جایگزین چربی کاربرد وسیعی در صنایع غذایی دارد. این صمغ یک کربوهیدرات منشعب است که از دو جزء اصلی تشکیل شده: تراگاکانتین (جزء محلول در آب) و باسورین (جزء متورم شونده در آب). باسورین ساختار پیچیده‌ای دارد که در اثر دمتوکسیله شدن احتمالاً به تراگاکانتین تبدیل می‌شود (۲۳). بلاغی و همکاران (۲۴) اخیراً گزارش کرده‌اند که گونه‌های مختلف کتیرا خصوصیات فیزیکی شیمیایی و رئولوژیک مختلفی دارند. به علاوه، کتیرا جزء مقاوم‌ترین صمغ‌ها نسبت به شرایط اسیدی است (۲۵). مطالعات انجام شده روی سیستم‌های حاوی تراگاکانتین و بتالاکتوگلوبولین در pH های مختلف، ماهیت الکترواستاتیک این برهم‌کنش‌ها را نشان می‌دهد (۲۶).

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، آب‌اندازی یکی از مشکلات اساسی نوشیدنی‌های اسیدی از جمله دوغ است. در سال‌های اخیر، تحقیقاتی برای پایدارسازی این محصول انجام شده است. فروغی‌نیا و همکاران معتقدند که افزودن هیدروکلوئیدها (ثعلب، کتیرا و گوار) به دلیل ایجاد شبکه و به دام افتادن آب و کازئین‌ها در این شبکه از جداسازی سرم جلوگیری می‌کند (۲۷). از طرفی تحقیقات بیشتر روی سازوکار پایدارسازی کتیرا (گونه *آستراگالوس گوسسپینوس*) نشان داد که نقش اساسی در پایدارسازی دوغ بر عهده تراگاکانتین از طریق واکنش‌های الکترواستاتیک با کازئین است. باسورین نیز با افزایش گرانش فاز پیوسته، نقش کمی دارد (۲۸).

در این پژوهش توانایی سه گونه صمغ کتیرا گونه‌های *آستراگالوس گوسسپینوس*، *آستراگالوس فلوکوسوسوس* و *آستراگالوس راهنسیس* ( *A. gossypinus*, *A. rahensis* and *A. flucosus* ) که صمغ بومی ایران هستند و خواص شیمیایی،

پروتئین‌های آب پنیر با کازئین‌ها رخ می‌دهد. اصول این واکنش‌ها در تحقیقات بسیاری مورد مطالعه قرار گرفته است (۴، ۵).

هزاران سال است که بشر دریافته با اسیدی کردن شیر می‌توان آن را به مدت زیادی نگهداری کرد. امروزه، اسیدی کردن شیر بیشتر از طریق تبدیل لاکتوز شیر به اسید لاکتیک از طریق باکتری‌های اسید لاکتیک یا اسیدی کردن از طریق افزودن آب‌میوه یا اسیدی کننده‌های شیمیایی است (۶، ۲). در pH طبیعی شیر، میسل‌های کازئین به دلیل دافعه فضایی کازئین‌های لایه مویی یا برس مانند (polymer brush repulsion) پایدار هستند (۴). با توجه به مدل حالت (Holt's model) طی اسیدی کردن، کاپا کازئین‌ها افت کرده و موجب تجمع میسل‌های کازئین در pH های نزدیک به pH ایزوالکتریک کازئین‌ها می‌شوند (۴/۹ - ۴/۶ pH) (۴، ۷). به دلیل پایین بودن pH در نوشیدنی‌های اسیدی لبنی (۴/۶ - ۳/۴)، برای جلوگیری از تجمع پروتئین‌ها و آب‌اندازی در این محصولات از پایدارکننده‌های متنوعی استفاده می‌شود که معمول‌ترین آن‌ها هیدروکلوئیدها هستند (۸، ۹).

به طور کلی، هیدروکلوئیدها در نوشیدنی‌های اسیدی لبنی به دو صورت عمل می‌کنند: یا به عنوان یک عامل قوام‌دهنده (thickening agent) مانند صمغ لوبیای خرنوب، آلژینات، زانتان و گوار یا هیدروکلوئیدهای آنیونی مثل پکتین، کتیرا، لانداکاراگینان و کربوکسی متیل سلولز که با کازئین‌های دارای بار مثبت وارد واکنش می‌شوند (۱۱، ۱۰). برای داشتن تصور بهتری از سازوکار پایدارسازی هیدروکلوئیدها در محصولات لبنی اسیدی، تحقیقات بسیاری در سیستم‌های مدل و سیستم‌های واقعی انجام شده است. مطالعات انجام شده در خصوص سیستم مدل حاوی محلول کازئین نشان داد که افزودن پکتین به این محلول موجب می‌شود تا کازئین‌ها در pH پایین‌تری ته‌نشین شوند (۱۲). به علاوه، گزارشات نشان می‌دهند که پکتین از طریق برهم‌کنش‌های الکترواستاتیک (electrostatic interactions) به سطح کازئین‌ها می‌چسبد (۱۳). همچنین، تشکیل شبکه ضعیف ژلی به وسیله پکتین برای جلوگیری از ته‌نشین شدن کازئین‌های تجمع یافته پیشنهاد شده است (۱۴، ۱۵).

در مقابل برخی پژوهشگران نشان داده‌اند که احاطه شدن ذرات کازئین در شبکه ضعیف ژلی برای جلوگیری از ته‌نشینی ذرات تجمع یافته در نوشیدنی‌های اسیدی لبنی الزامی نیست. آن‌ها معتقدند که سازوکار پایدارسازی پکتین با متوکسیل بالا

خشک بدون چربی آن‌ها به ترتیب روی  $0.12 \pm 0.93/3$  و  $0.13 \pm 0.33/4$  تنظیم شد.

**اندازه‌گیری میزان جدایی فازها:** برای تعیین میزان جداسازی فازی از استوانه‌های مدرج ۵۰ میلی‌لیتری هم‌شکل استفاده شد. پس از ریختن نمونه‌ها در استوانه مدرج، دربندی توسط پارافیلیم انجام شد. نمونه‌ها به یخچال منتقل شده و در دمای  $3^{\circ}\text{C}$  به مدت ۳۰ روز نگهداری شدند. برای ثبت میزان جدایی فازها، در زمان‌های معین (ابتدا هر ۱۲ ساعت و سپس هر ۲۴ ساعت) حجم فراورده از انتهای استوانه مدرج تا خط فاصل جدایی فاز بعدی بر حسب میلی‌لیتر گزارش شد.

**اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات:** توزیع اندازه ذرات نمونه‌های دوغ در دمای محیط توسط laser diffraction particle size analyzer (Malvern Mastersizer Hydro 2000s(A), UK) تعیین شد. نتایج در قالب شاخص‌های  $d(0/1)$ ,  $D[4,3]$ ,  $d(0/5)$ ,  $d(0/9)$  گزارش شده است.  $d(0/1)$ ,  $d(0/5)$  و  $d(0/9)$  به ترتیب نمایانگر ۱۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪ ذرات موجود با قطری کمتر از مقدار داده شده بودند. Uniformity یکدست بودن و یکنواختی ذرات موجود را نشان می‌دهد که هر چه به «یک» نزدیک‌تر باشد، یعنی سیستم از ذرات یکنواخت‌تری تشکیل شده است (۲۹). Span اندازه پهنای نمودار توزیع اندازه ذرات را نشان می‌دهد. هر چه این نمودار، باریک‌تر باشد عدد Span کوچک‌تر است و مقدار آن از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\text{Span} = \frac{d(0/9) - (0/1)}{d(0/5)}$$

$D[4,3]$  و  $D[3,2]$  نوعی قطر معادل هستند و مقدار آن‌ها از

فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$D[3,2] = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i d_i^2} \quad \text{و} \quad D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} n_i d_i^4}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i d_i^3}$$

**آزمون‌های رئولوژیک:** کلیه آزمون‌ها با استفاده از دستگاه رئومتر چرخشی physica MCR 301 ساخت شرکت Anton paar اتریش انجام شد. برای تنظیم دما سیستم Peltier plate با حساسیت  $\pm 0.1$  مجهز به سیرکولاتور آب به کار رفت. به دلیل رقیق بودن نمونه‌ها و به منظور توسعه اندازه‌گیری تا نرخ برش‌های پایین مطابق استاندارد DIN54453 از ژئومتری استوانه هم‌محور دوگانه به ارتفاع ۴۰ میلی‌متر و قطر به ترتیب از داخل به خارج ۲۷/۵۹، ۲۴/۶۶ و ۲۳/۸۲ میلی‌متر استفاده شد که هر دو سطح خارجی و داخلی اسپیندل گردان با سیال در تماس بودند. عامل محدود کننده در نرخ برش‌های

فیزیکی و رئولوژیک کاملاً متفاوتی با یکدیگر دارند، بر پایداری، خواص رئولوژیک و خصوصیات حسی این نوشیدنی ایرانی مطالعه شد. پرسش اصلی پژوهش آن بود که آیا بین گونه‌های مختلف کتیرا در پایداری دوغ در مدت زمان ماندگاری (۳۰ روز) تفاوت معنی‌دار وجود دارد یا خیر؟ کدام گونه یا گونه‌های کتیرا در این زمینه مناسب‌تر هستند؟ در صورت امکان چه غلظتی از هر یک از گونه‌های کتیرا پایداری مناسب‌تر و طولانی‌تری را به محصول می‌بخشد و سازوکار احتمالی این پایداری چیست؟

### • مواد و روش‌ها

**محلول کتیرا:** سه گونه مختلف کتیرا شامل *آستراگالوس گوسیپینوس*، *آستراگالوس فلوکوسوس* و *آستراگالوس راهنسیس* از استان‌های اصفهان، خراسان و سمنان در مرداد ماه سال ۱۳۸۶ جمع‌آوری شد. نمونه‌ها با استفاده از آسیاب، پودر شد و با استفاده از الک‌هایی با مش‌های مختلف، پودرهایی بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میکرون به دست آمد. پراکنش‌های سه گونه صمغ کتیرا در سه غلظت ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی در آب مقطر آماده شدند. پراکنش‌ها به مدت یک روز در  $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$  برای جذب کامل آب نگهداری شدند.

**تهیه نمونه‌های دوغ:** شیر تازه بدون چربی (۰/۰۵٪) تهیه شده از خط تولید کارخانه لبنیات پاک در آزمایشگاه توسط دستگاه همگن‌ساز (AVP، دانمارک) در عملیات همگن‌سازی دو مرحله‌ای (۱۴۰ و ۶۰ بار) همگن و به دستگاه ویسکوباتور (رباط مخزن، ایران) منتقل شد. در ویسکوباتور به مدت ۱۵ دقیقه در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  تحت تیمار گرمایی قرار گرفت، سپس تا دمای  $44-40^{\circ}\text{C}$  خنک شد و عمل تلقیح در همین دما با کشت آغازگر Yo-mix 601 50U و Yo-mix 502 50U (Danisco Co.) انجام گرفت. نمونه‌ها تا رسیدن به pH مطلوب (۳/۷۶  $\pm$  ۰/۰۵) در دمای  $42^{\circ}\text{C}$  گرمخانه‌گذاری شدند. در نهایت، نمونه‌ها در دمای  $5^{\circ}\text{C}$  نگهداری شدند. برای تولید دوغ از ۴۰٪ وزنی ماست، ۵۹/۴٪ وزنی آب مقطر (که قبلاً یک سوم آن به صمغ اضافه شده بود)، ۰/۶٪ وزنی نمک طعام (درجه خلوص ۹۹/۵٪) و محلول صمغ استفاده شد. سپس همگن‌سازی یک مرحله‌ای (۱۵۰ بار) انجام شد و دوغ حاصل در دستگاه ویسکوباتور در دمای  $85^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ دقیقه تحت تیمار گرمایی قرار گرفت. نمونه‌های دوغ پس از رسیدن به دمای  $14^{\circ}\text{C}$  در ظروف پر شدند و در دمای  $3^{\circ}\text{C}$  در طول مدت نگهداری در یخچال قرار گرفتند. pH نهایی محصولات و ماده

در جایگاه استاندارد شده ارزیابی حسی انجام شد (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب معادل غیرقابل قبول، نسبتاً رضایت‌بخش، متوسط، خوب و عالی).

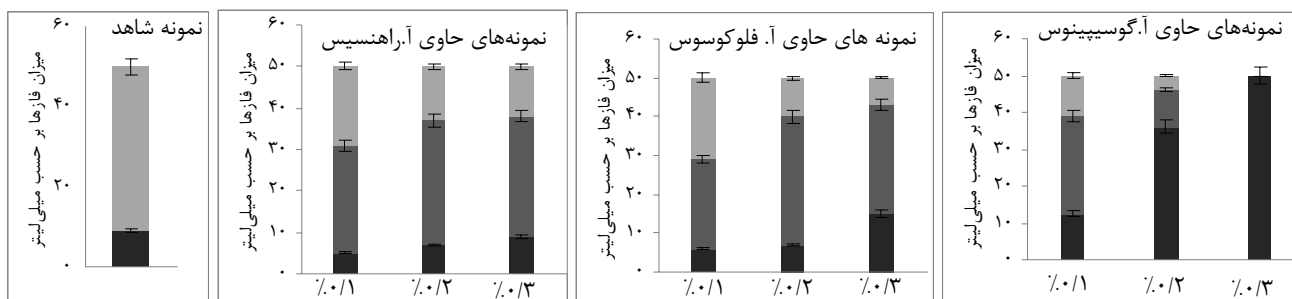
**تجزیه و تحلیل آماری:** همه آزمون‌ها با سه بار تکرار انجام شد. برای گزارش اطلاعات به دست آمده از تکرار آزمایشات و مشاهدات از میانگین استفاده شد. برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS<sub>16</sub>، آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن F-value ( $P < 0.05$ ) از آزمون دانکن چند دامنه جهت تجزیه و تحلیل میانگین‌ها استفاده شد.

### • یافته‌ها

**جدایی فازها:** پس از مدتی در دوغ‌های قرار داده شده در استوانه‌های مدرج و نگهداری شده در دمای  $3^{\circ}\text{C}$  سه فاز تفکیک شده از یکدیگر تشکیل شد (شکل ۱). در دوغ‌های حاوی گونه‌های *آستراگالوس راهنسیس* (A.R) و *آستراگالوس فلوکوسوس* (A.F) در تمامی غلظت‌ها (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳) و در دوغ‌های حاوی کتیرای گونه *آستراگالوس گوسیپینوس* (A.G) در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۲ سه فاز تشکیل شد که شامل یک فاز رویی شفاف، فاز میانی کدر و فاز زیری مات بود. نمونه حاوی غلظت ۰/۳ صمغ کتیرای گونه A.G هیچ گونه جدایی فازی را در طول ۳۰ روز نشان نداد و نمونه شاهد دارای بیشترین آب‌اندازی و فاقد فاز میانی بود. آب‌اندازی در نمونه‌های حاوی صمغ کتیرا با افزایش غلظت صمغ کاهش یافت.

پایین در مورد سیالاتی که گرانروی پایین دارند، مسئله گشتاور بسیار کم است که معمولاً از دامنه حساسیت دستگاه خارج می‌شود. در ژئومتری استوانه هم‌محور دوگانه با افزایش سطح برش قادر به تولید گشتاور بالاتر است. با توجه به اندازه ذرات موجود در پراکنش و با انجام آزمون Gap ramp میزان Gap یا فاصله بین استوانه گردان و استوانه ثابت که محل قرارگیری نمونه است معادل ۱ میلی‌متر تعیین شد. به منظور همگن شدن نمونه‌ها و جلوگیری از ته نشینی آن‌ها نمونه‌ها قبل از انجام آزمون با نرخ برش  $200 \text{ s}^{-1}$  به مدت ۲۰ ثانیه توسط دستگاه هم زده شد. همچنین، برای ثابت شدن دمای نمونه و ساختار اولیه زمان استراحت در آزمون‌های پایا و ناپایا روی ۲۰ ثانیه تنظیم شد. برای انجام آزمون‌های رئولوژیک پایا نمودارهای گرانروی ظاهری در مقابل نرخ برش  $0.1 \text{ s}^{-1}$  تا  $1000 \text{ s}^{-1}$  برای همه نمونه‌ها توسط دستگاه به دست آمد. سپس مدل‌های قانون توان (Power law)، هرشل بالکلی (Herschel-Bulkley) و کراس (Cross) در کل محدوده نرخ برش آزمون شده بر داده‌ها از طریق نرم افزار دستگاه رئومتر برازش (fit) شد. برای انجام آزمون‌های رئولوژیک ناپایا با در نظر گرفتن محدوده خطی به دست آمده از آزمون روبش کرنش، آزمون روبش بسامد (frequency) در کرنش ثابت ۰/۲ و بسامد متغیر از ۰/۱ تا ۱۰ هرتز انجام شد.

**آزمون ارزیابی حسی:** برخی از ویژگی‌های حسی نمونه‌ها (شامل: ظاهر، رنگ، بو، قوام، مزه و پذیرش کلی) در چهارچوب آزمون هدونیک پنج طبقه‌ای توسط ۳۰ ارزیاب آشنا با محصول



شکل ۱- میزان جدایی فازها تابع غلظت در نمونه‌های دوغ پس از ۳۰ روز نگهداری در دمای  $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$  (تیره‌تر شدن رنگ، نشان دهنده سنگین‌تر شدن فاز است).

شده است. در غلظت ۰/۳٪ در نرخ برش‌های پایین به ترتیب دوغ حاوی گونه‌های *A.F*، *A.G* و *A.R* نسبت به شاهد گرانروی ظاهری بالاتری داشتند، در حالی که در نرخ برش‌های پایین‌تر، ابتدا دوغ حاوی *A.G* و سپس *A.F* و *A.R* گرانروی ظاهری بالاتری را نسبت به شاهد نشان دادند. همچنین، سه مدل قانون توان، هرشل بالکلی و کراس برای این نمونه‌ها برآزش شدند که داده‌های مربوط به این مدل‌ها در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه شاهد بهترین برآزش را با مدل قانون توان داشت، در صورتی که نمونه‌های حاوی *A.F* و *A.R* دارای بهترین برآزش با مدل هرشل بالکلی و نمونه حاوی *A.G* دارای بهترین برآزش با مدل کراس بودند.

**توزیع اندازه ذرات:** داده‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات نمونه شاهد دوغ و نمونه‌های دوغ حاوی غلظت ۰/۳٪ سه گونه صمغ کتیرا در جدول ۱ آورده شده است. با توجه به پایداری بیشتر نمونه‌های دوغ در غلظت‌های بالا در هر گونه، برای مقایسه تاثیر گونه‌های مختلف کتیرا در پایداری دوغ، توزیع اندازه ذرات این نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نمونه شاهد دارای کمترین *uniformity* و بیشترین *d(0/5)* بود (جدول ۱) و *d(0/5)* به ترتیب در نمونه‌های حاوی *A.F*، *A.R* و *A.G* کاهش یافت. در مقابل، نمونه حاوی *A.G* *d(0/5)* کوچک‌تری داشتند و *d(0/9)* در این نمونه از سایر نمونه‌ها بیشتر بود و باعث افزایش *span* در این نمونه شد.

**ویژگی‌های رئولوژیک پایا:** گرانروی ظاهری غلظت ۰/۳٪ نمونه‌های حاوی سه گونه کتیرای ایرانی در شکل ۲ نشان داده

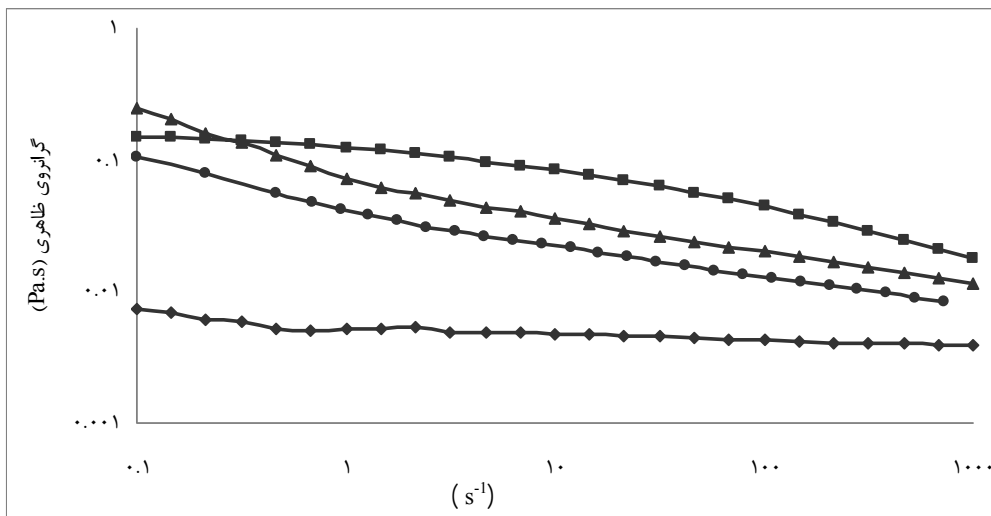
جدول ۱- داده‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات نمونه شاهد دوغ و نمونه‌های دوغ حاوی غلظت ۰/۳٪ صمغ گونه‌های *آ.فلوکوسوس* (*A.f*)، *آ.راهنسیس* (*A.r*) و *آ.گوسیپینوس* (*A.g*)

شاخص‌های توزیع اندازه ذرات							Uniformity	نمونه‌های دوغ
<i>d(0/9)μm</i>	<i>d(0/5)μm</i>	<i>d(0/1)μm</i>	<i>D[4,3]μm</i>	<i>D[3,2]μm</i>	Span			
a453/226±13/597	d5/222±0/159	d1/386±0/041	a168/178±5/045	c2/529±0/105	a84/908±2/547	a31/11±0/923	% 0/3 <i>A.g</i>	
c33/723±1/348	c11/912±0/476	b2/453±0/098	b48/346±1/923	b5/746±0/229	b2/625±0/105	b3/55±0/142	% 0/3 <i>A.r</i>	
b45/596±1/823	b15/244±0/609	c2/222±0/088	c38/424±1/527	b5/796±0/221	b2/845±0/113	c2/08±0/083	% 0/3 <i>A.f</i>	
b46/462±2/323	a22/994±1/149	a5/35±0/267	d25/027±1/251	a10/404±0/520	c1/788±0/089	d0/523±0/026	شاهد	

\* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت نشان‌دار شده‌اند، به طور معنی‌دار با یکدیگر متفاوت هستند ( $p < 0/05$ ).

جدول ۲- مدل‌های برآزش شده نمونه‌های دوغ حاوی غلظت ۰/۳٪ سه گونه صمغ کتیرا (قسمت نمایش داده شده با رنگ طوسی نشان دهنده بهترین برآزش با مدل مربوطه است.)

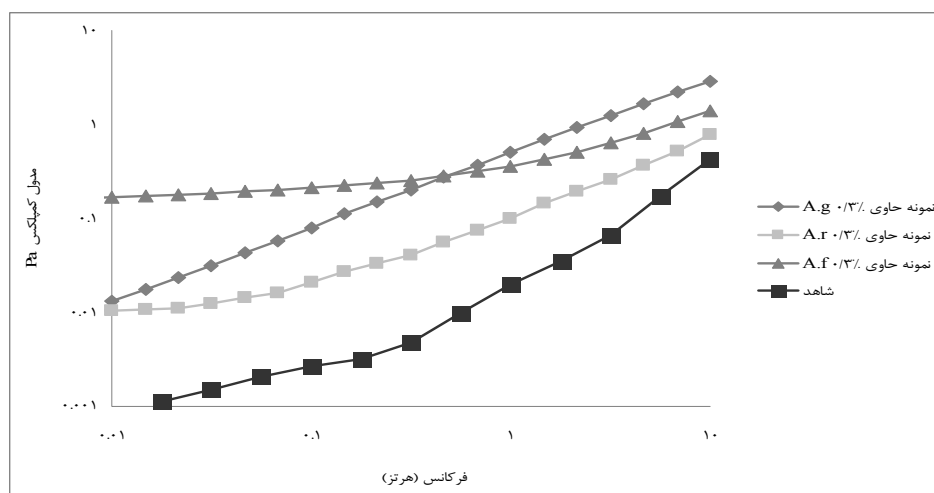
کراس $\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = \frac{1}{(1 + (k \times \dot{\gamma})^m)}$					هرشل بالکلی $\tau = m \dot{\gamma}^n + \tau_0$				قانون توان $\tau = m \dot{\gamma}^n$			شاهد
$R^2$	$m^f$	$k^e$	$\eta_0^d$	$\eta_0^e - \eta_{\infty}$	$R^2$	$n$	$m(\text{pa.s}^n)$	$\tau_0$	$R^2$	$n^b$	$m^a$ ( $\text{pa.s}^n$ )	
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0/99961	0/94926	0/00541	-0/00007	0/9997	0/96830	0/00510	شاهد
0/99946	0/4577	0/34601	0	0/16804	0/97476	0/72016	0/14751	-0/01503	0/89365	0/77164	0/11905	<i>A.G</i>
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0/99982	0/76112	0/05981	0/01447	0/97595	0/68860	0/08267	<i>A.F</i>
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0/99981	0/77881	0/03574	0/00458	0/99778	0/75831	0/03950	<i>A.R</i>



شکل ۲- گرانروی ظاهری نمونه‌های دوغ حاوی غلظت ۰/۳٪ سه گونه صمغ کتیرا در دمای ۳°C (A.G (■) شاهد (◆), A.F (▲), A.R (●))

کمتری نسبت به دوغ حاوی کتیرای گونه A.G و نمونه شاهد کاهش یافتند. همچنین، در جدول ۳ شاخص‌های گرانروی کمپلکس، مدول ویسکوز و الاستیک و تانژانت افت آورده شده است. بیشترین مدول ویسکوز، مدول الاستیک و گرانروی کمپلکس به ترتیب مربوط به نمونه‌های حاوی A.G، A.F، A.R و شاهد بود.

**ویژگی‌های رئولوژیک نوسانی:** مدول کمپلکس نمونه‌های حاوی غلظت ۰/۳٪ سه گونه کتیرا را در مقایسه با نمونه شاهد در نمودار ۳ مشاهده می‌شود. دوغ حاوی غلظت ۰/۳٪ کتیرای گونه A.G دارای بیشترین مدول کمپلکس در بسامدهای بالا بود و با کاهش بسامد مدول کمپلکس ناگهان کاهش یافت. پس از آن، دوغ‌های حاوی گونه‌های A.F و A.R در مقایسه با نمونه شاهد بیشترین مدول کمپلکس را داشتند و با شیب



شکل ۳- نمودار مدول کمپلکس در برابر بسامد در نمونه شاهد دوغ و نمونه‌های دوغ حاوی غلظت‌های ۰/۳٪ سه گونه صمغ کتیرا

بود. در بررسی بو نمونه حاوی *A.G* از نظر ارزیابها دارای بهترین بو و نمونه شاهد و نمونه حاوی *A.F* دارای بوی نامطلوبی بود نمونه حاوی *A.G* از نظر ارزیابها بهترین قوام را داشت. نمونههای حاوی *A.F*، *A.R* و نمونه شاهد دارای اختلاف معنی داری با یکدیگر از نظر قوام نبودند. در بررسی طعم نمونه حاوی *A.G* دارای بهترین طعم بوده و سپس نمونه حاوی *A.R* طعم مطلوبتری نسبت به سایر نمونهها داشت.

**ویژگیهای حسی:** نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونهها نشان داد که تفاوت معنی داری میان نمونههای حاوی *A.F*، *A.R* و نمونه شاهد با نمونه حاوی *A.G* در پذیرش کلی وجود دارد ( $P < 0/05$ ) (جدول ۴). بیشترین مطلوبیت در نمونههای حاوی گونه *A.G* کتیرا دیده شد. همچنین، تفاوت معنی داری میان پذیرش کلی نمونههای حاوی *A.F*، *A.R* و نمونه شاهد مشاهده نشد. در بررسی ظاهر نمونهها تفاوت معنی داری بین نمونهها مشاهده شد و نمونه حاوی *A.G* از نظر ارزیابها دارای بهترین ظاهر و رنگ و نمونه شاهد، دارای نامطلوب ترین ظاهر

جدول ۳ - اثر گونه کتیرا بر دادههای حاصل از آزمون روبش بسامد در نمونههای دوغ حاوی غلظت ۳/۰٪

نمونهها	$G'(Pa)$		$G''(Pa)$		$\eta^*(Pa.s)$		$\tan\delta$	
	10Hz	1Hz	10Hz	1Hz	10Hz	1Hz	0/1Hz	1Hz
نمونه حاوی (% / ۳A.g)	a۰/۸۴۴۸±۰/۰۳۳۸	a۰/۴۸۵۸±۰/۰۱۹۴	a۲/۷۴۰۰±۰/۰۰۹۶	a۱۱/۱۳۴±۲/۲۴۵	a۴۵/۶۳۵±۱/۸۲۵	b۳/۱۴۳±۰/۱۲۶	b۳/۷۱۸±۰/۱۴۹	b۳/۱۴۳±۰/۱۲۶
نمونه حاوی (% / ۳A.f)	b۰/۱۰۷±۰/۰۰۴۳	b۰/۳۲۴±۰/۰۱۳۰	b۱/۴۰۴±۰/۰۶۵۲	b۵۷/۶۰۳±۲/۳۰۴	b۲۲/۴۱۰±۰/۰۸۱	c۲/۰۱۳±۰/۰۸۱	d۱/۴۲۸±۰/۰۵۷	c۲/۰۱۳±۰/۰۸۱
نمونه حاوی (% / ۳A.r)	-	c۰/۰۹۷۴±۰/۰۰۳۹	c۰/۷۸۳۲±۰/۰۳۱۳	c۱۵/۹۲۳±۰/۶۳۷	c۱۲/۴۶۵±۰/۴۹۹	a۴/۲۳۵±۰/۱۶۹	e۱/۷۹۳±۰/۰۷۲	a۴/۲۳۵±۰/۱۶۹
شاهد	-	d۰/۰۲۶۷±۰/۰۰۱۱	-	d۴/۳۲۴±۰/۱۷۳	d۶/۷۷۶±۰/۲۷۱	-	a۵/۳۱۳±۰/۲۱	-

\* میانگینهایی که در هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت نشاندار شدهاند، به طور معنی داری با یکدیگر متفاوت هستند ( $P < 0/05$ ).

جدول ۴ - ارزیابی حسی دوغ بدون کتیرا و دوغ حاوی غلظت ۳/۰٪ گونههای *A.G*، *A.F* و *A.R*

شاخصهای ارزیابی حسی	شاهد	<i>A.G</i>	<i>A.F</i>	<i>A.R</i>
ظاهر	c۱/۷۶	a۴/۵۶	c۲/۳۲	b۲/۸۳
رنگ	b۲/۹	a۴/۲۶	b۳/۱	b۳/۲۳
بو	c۲/۹۷	a۳/۷۳	c۲/۸۷	b۲/۸۳
قوام	b۳/۰۷	a۴/۰۷	b۳/۳	b۳/۲۷
طعم	a۳/۱۳	a۳/۷۳	b۱/۷۳	ab۳/۲۳
پذیرش کلی	b۲/۷۷	a۴/۰۷	b۲/۶۶	b۳/۰۸

\* میانگینهایی که در هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت نشاندار شدهاند، به طور معنی داری با یکدیگر متفاوت هستند ( $P < 0/05$ ).

## • بحث

عملکردی نظیر پکتین با متوکسیل بالا و پکتین با متوکسیل پایین داشته باشند که تعیین کننده موارد استفاده از آن‌ها در محصولات مختلف است.

**توزیع اندازه ذرات:** در منابع علمی ابعاد میسل کازئین ۱۰۰ تا ۱۸۰ نانومتر گزارش شده است (۴) در حالی که ابعاد ذرات تجمع یافته در نمونه شاهد ۲۷۵ تا ۶۰۲۵۶ نانومتر تعیین شده است. این موضوع نشان می‌دهد که در محصول نهایی و به ویژه در دوره نگهداری، احتمال تجمع ذرات میسلی وجود دارد. به نظر می‌رسد با افزودن گونه‌های مختلف صمغ کتیرا در غلظت‌های مختلف به ویژه غلظت ۰/۳٪ به خصوص هنگامی که از *A.G* استفاده می‌شود، ذرات کازئین از دو طریق ممانعت فضایی و افزایش دافعه الکترواستاتیک، احتمالاً به دلیل افزایش پتانسیل زتای منفی از یک طرف و از سوی دیگر افزایش گرانیوی فاز پیوسته به وسیله باسورین، با کاهش ابعاد ذرات تجمع یافته به حدود ۲۷۵ نانومتر تا ۱۰۰۰۰ نانومتر به پراکندگی ذرات کمک می‌کنند (۲۸). علاوه بر این، تعداد ذرات بزرگ نیز افزایش می‌یابد، که این ذرات درشت می‌تواند مربوط به باسورین (جزء نامحلول صمغ کتیرا) باشند که به دلیل خنثی شدن توسط نمک موجود در دوغ و ماهیت غیر جاذب بودن آن با کازئین وارد واکنش نشده و به صورت آزاد در دوغ وجود دارد. از آنجا که میزان این جزء در گونه *A.G* بیشتر است (۷۰٪) نقطه اوج ناشی از وجود این جزء (نقطه اوج دوم) در نمودارهای توزیع اندازه ذرات نمونه‌های حاوی این گونه، بزرگ‌تر از سایر نمونه‌ها است.

در مورد نوشیدنی‌های مشابه پایدار شده با صمغ پکتین نشان داده شده است که در نمونه بدون پکتین با داشتن ذرات تجمع یافته، اندازه ذرات بزرگتر از نمونه پایدار شده با پکتین است. با افزودن پکتین، این ذرات تجمع یافته از هم جدا شده و اندازه ذرات کاهش می‌یابد (۱۶، ۱۳). همچنین، با کاهش اندازه ذرات، آب‌اندازی در هر سه گونه و در همه غلظت‌ها کاهش می‌یابد. به طوری که در نمونه حاوی غلظت ۰/۳٪ گونه *A.G* که دارای کوچک‌ترین ذرات است، آب‌اندازی بعد از ۳۰ روز به صفر رسیده است. با تشکیل کمپلکس بین میسل‌های کازئین و جزء محلول گونه‌های مختلف صمغ کتیرا، ذرات تجمع یافته از هم جدا شده و کمپلکس محلولی را تشکیل می‌دهند (۱۳). تشکیل کمپلکس‌های محلول

**جدایی فازها:** در محصولات تخمیری به دلیل تجمع پروتئین‌ها در pH پایین، آب‌اندازی رخ می‌دهد. استفاده از پایدارکننده‌ها یکی از راه‌های جلوگیری از این مشکل است (۳۰، ۱۳). در پژوهش حاضر با افزودن سه گونه کتیرا جدایی فازی به طرز چشمگیری کاهش یافت؛ به طوری که در غلظت ۰/۳٪ صمغ‌های *A.G*، *A.R* و *A.F* آب‌اندازی به ترتیب به میزان ۱۰۰٪، ۷۰/۷۳٪ و ۸۲/۹۳٪ نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت. در پژوهش‌های پیشین اشاره‌ای به وجود یک سیستم سه فازی در نمونه‌های دوغ حاوی کتیرا نشده است (۲۸). این عملکرد گونه‌های مختلف صمغ کتیرا را می‌توان به ساختار متفاوت این گونه‌ها، نسبت جزء محلول به نامحلول، میزان قندهای تشکیل دهنده و میزان مواد معدنی موجود مربوط دانست. پژوهش‌های پیشین نشان داده که نسبت جزء محلول به نامحلول در صمغ‌های *A.G*، *A.R* و *A.F* به ترتیب ۰/۵، ۱/۳ و ۳/۵۱ است (۲۴). همچنین، جزء محلول صمغ قادر به برهم‌کنش الکترواستاتیک با پروتئین‌ها است، در صورتی که به نظر می‌رسد باسورین تمایلی به واکنش با پروتئین‌ها ندارد و احتمالاً از طریق افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته باعث کاهش آب‌اندازی نمونه‌های دوغ می‌شود (۲۸، ۲۶). مطالعه حاضر نشان داد که نتایج پیشین و تفسیر آن‌ها به گونه کتیرای مورد استفاده بستگی زیادی دارد. همچنین، در مطالعات پیشین دوغ حاوی ۶٪ ماده خشک و ۱٪ چربی با ۰/۲٪ کتیرای گونه *A.G* مورد آزمون بود، حال آنکه در پژوهش حاضر دوغ بدون چربی با غلظت ۰/۳٪ همین گونه پایدار شد. این موضوع نشان دهنده نقش چربی در پایداری دوغ است. پژوهش‌های انجام شده روی ایران در ترکیه نیز اثر چربی در پایداری این محصول را تأیید می‌کند، به طوری که کاهش چربی، میزان آب‌اندازی را افزایش می‌دهد (۳۱).

در مطالعات انجام شده روی نوشیدنی‌های لبنی اسیدی شده مشخص شد که پکتین با متوکسیل بالا بهترین نقش را در پایدارسازی دارد، در صورتی که پکتین با متوکسیل پایین به اندازه آن در نوشیدنی‌های اسیدی لبنی موفق نبوده و نقش بهتری در ماست برای جلوگیری از آب‌اندازی و بهبود قوام آن ایفا می‌کند (۳۲، ۱۶، ۱۴، ۱۳، ۱۰، ۶). با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق و با توجه به نتایج حاصل از مطالعات پیشین، گونه‌های مختلف کتیرا می‌توانند



کراس مشاهده شد. به دلیل واکنش‌های الکترواستاتیک بین میسل‌های کازئین و صمغ کتیرا، این ماده مقاومت بیشتری را در برابر نرخ برش اعمال شده نشان می‌دهد و در نتیجه، موجب بالا رفتن گرانیوی ظاهری می‌شود. همچنین برای مقابله با پیوندهای تشکیل شده تنش اولیه (تنش حد) نیاز است. این تنش در بیشتر نمونه‌ها مشاهده می‌شود که موجب تغییر مدل برازش شده از قانون توان در نمونه شاهد به مدل هرشل بالکلی در نمونه‌های حاوی صمغ شده است (۱۴).

**ویژگی‌های رئولوژیک ناپایا:** با مقایسه مدول‌های کمپلکس نمونه‌های دوغ می‌توان دریافت که با افزایش بسامد در همه نمونه‌ها، این مدول افزایش می‌یابد و در نمونه‌های حاوی غلظت ۰/۳٪ صمغ کتیرای گونه  $A.G$  بیش‌ترین است. همواره در تمامی بسامدهای اعمال شد. " $G' < G''$ " بود و ساختار ژل‌مانند (Gel-like structure) در نمونه‌ها مشاهده نشد. بنابراین، افزایش پایداری در این نمونه‌ها را نمی‌توان به ایجاد شبکه و به دام انداختن آب در آن نسبت داد (۱۶). همچنین، مقایسه تانژانت افت نمونه‌ها که بیانگر نسبت مدول ویسکوز به مدول الاستیک ( $G''/G'$ ) است، نشان داد که با افزودن صمغ این عامل به خصوص در بسامدهای بالا افزایش می‌یابد و کمترین تانژانت افت مربوط به نمونه شاهد است. دلیل افزایش تانژانت افت با افزایش بسامد را می‌توان به این صورت توصیف کرد که در بسامدهای پایین پس از اعمال بسامد ماده فرصت دوباره ساختن پیوندهای شکسته شده در یک چرخه بسامد را دارد. بنابراین، پیوندهای دوباره تشکیل شده، ساختار ماده را حفظ می‌کند و ماده از خود خاصیت جامد ویسکوالاستیک نشان می‌دهد، ولی در بسامد‌های بالا ماده فرصت بازسازی پیوندها را ندارد و با شکستن پیوندها مؤلفه ویسکوز افزایش یافته و ماده از خود خاصیت مایع ویسکوالاستیک را نشان می‌دهد (۱۰). طبق یک نظریه ارائه شده، در بسامدهای پایین حرکت برون (Brownian motion) ذرات بر بسامد غلبه می‌کند و تصور درستی از برهم‌کنش ذرات در بسامدهای پایین ارائه نمی‌دهد، در حالی که در بسامدهای بالا اثر حرکت برون کم می‌شود و شاخص‌های حاصل از آزمون‌های نوسانی نماینده بهتری از برهم‌کنش‌های میان ذرات هستند (۳۶، ۳۷). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در بسامدهای بالا نمونه‌های دوغ حاوی  $A.G$ ،  $A.F$  و  $A.R$  به ترتیب دارای بیشترین  $G^*$  هستند که کمترین آب‌اندازی و بهترین پایداری را دارند.

توسط صمغ کتیرا از یک طرف و وجود باسورین در محلول که باعث افزایش گرانیوی فاز پیوسته می‌شود از طرف دیگر موجب پایداری شدن دوغ در حضور صمغ کتیرا می‌شود.

**ویژگی‌های رئولوژیک پایا:** در نمونه‌های دوغ حاوی صمغ، رفتار سودوپلاستیک یا شل شونده با برش (shear thinning) مشاهده شد، در حالی که نمونه دوغ فاقد صمغ، رفتاری نسبتاً نیوتنی از خود نشان داد. البته، برخی نوشیدنی‌های اسیدی لبنی حتی در عدم حضور هیدروکلوئیدها نیز از خود رفتار سودوپلاستیک نشان می‌دهند (۳۴، ۳۳، ۱۳). می‌توان این رفتار را به میزان بالای ماده خشک آن‌ها در مقایسه با دوغ نسبت داد که موجب افزایش برهم‌کنش‌های داخلی بین ذرات می‌شود و ماده از خود خاصیت سودوپلاستیک نشان می‌دهد (۳۵، ۳۴). در همه نمونه‌های حاوی صمغ، کاهش ناگهانی، گرانیوی در نرخ برش‌های پایین رخ داد، در صورتی که بعد از این کاهش ناگهانی، گرانیوی ظاهری نمونه‌ها با شیب کمتری کاهش یافت. این رفتار را می‌توان به کاهش اندازه ذرات در نرخ برش‌های بالا نسبت داد (۲۹).

با افزایش گرانیوی ظاهری در تمام نمونه‌ها، آب‌اندازی کاهش یافت. به دلیل بیشتر بودن گرانیوی ظاهری نمونه حاوی صمغ کتیرای گونه  $A.G$  آب‌اندازی در این نمونه از نمونه‌های دیگر کمتر بود. به طوری که در غلظت ۰/۳٪ این گونه آب‌اندازی پس از ۳۰ روز هم مشاهده نشد. از یک سو، افزایش گرانیوی فاز پیوسته به وسیله جزء نامحلول صمغ (باسورین) مانع ته‌نشینی پروتئین‌های موجود در دوغ و کمپلکس‌های ناشی از برهم‌کنش پروتئین و جزء محلول صمغ کتیرا می‌شود و از سوی دیگر، تشکیل کمپلکس‌های محلول پروتئین - پلی‌ساکارید که باعث ممانعت فضایی و دافعه الکترواستاتیک می‌شوند، موجب کاهش آب‌اندازی در نمونه‌های دوغ می‌شود. احتمال می‌رود که تشکیل کمپلکس‌های پروتئین - پلی‌ساکارید در این نمونه‌ها و جذب صمغ کتیرا بر سطح میسل‌های کازئین باعث جدا شدن ذرات تجمع یافته و در نتیجه کوچک‌تر شدن این میسل‌ها شده باشد. نتایج مشابهی در مورد نوشیدنی‌های اسیدی لبنی پایدار شده با پکتین نیز مشاهده شده است (۳۲).

در مدل‌های برازش شده بر داده‌های حاصل از نمودار نرخ برش - تنش برشی نشان داده شد که با افزودن صمغ، مدل برازشی از قانون توان به هرشل بالکلی تغییر می‌کند و در نمونه‌های حاوی غلظت ۰/۳٪  $A.G$  بهترین برازش با مدل

در مجموع، قابلیت گونه‌های مختلف کتیرای ایرانی در پایدار سازی دوغ متفاوت است. کتیرا با افزایش گرانی و ظاهری و کاهش اندازه ذرات باعث افزایش پایداری محصول می‌شود. اصولاً سازوکار پایداری تحت تأثیر هر دو جزء محلول و نامحلول کتیرا است، ولی بین میزان ناپایداری و نسبت جزء محلول به نامحلول رابطه‌ای وجود ندارد. به نظر می‌رسد که ساختار شیمیایی پلی‌ساکاریدهای موجود در صمغ به لحاظ محتوای اورونیک اسید و نوع قندهای خنثی مهم‌ترین عامل مؤثر کیفیت صمغ در پایدار سازی دوغ است.

مقایسه حساسیت تانژانت افت در آزمون رویش بسامد در نمونه‌های دوغ حاوی غلظت ۰/۳٪ این سه گونه، که در این غلظت بیشترین پایداری را نشان دادند، نشان دهنده حساسیت بالای نمونه حاوی گونه *A.R* به افزایش بسامد و در مقابل حساسیت بسیار پایین نمونه حاوی گونه *A.G* به افزایش بسامد است. از آنجا که بسامدهای بالا می‌تواند نمایانگر وضعیت ماده غذایی طی تکان‌های شدید حمل و نقل باشد، پایدار ماندن نمونه‌ها در این شرایط در صنایع غذایی اهمیت فراوانی دارد.

## • References

- Kurmann JA, Rasic JL, Kroger M. Encyclopedia of Fermented Fresh Milk Products: an international inventory of fermented milk, cream, buttermilk, whey and related products. Van Nostrand Reinhold Company (New York), 1992, 368 pp.
- Tamime A, Robinson R. Yoghurt: science and technology: (2nd Edition) Cambridge, uk Woodhead Publishing; 1999.
- Institute of Standards and Industrial Research of IRAN. Doogh – Specifications and test method , ISIRI no 2453: 2nd rd; Karaj: ISIRI; 2008 [in parsian].
- Tuinier R, De Kruif C. Stability of casein micelles in milk. J Chem Phys. 2002;117:1290.
- Donato L, Guyomarc'h F, Amiot S, Dalglish DG. Formation of whey protein/[kappa]-casein complexes in heated milk: Preferential reaction of whey protein with [kappa]-casein in the casein micelles. Int Dairy J 2007;17(10):1161-7.
- Nakamura A, Yoshida R, Maeda H, Corredig M. The stabilizing behaviour of soybean soluble polysaccharide and pectin in acidified milk beverages. Int Dairy J 2006;16(4):361-9.
- Holt C. Advances in Protein Chemistry. Anfinsen CB, Edsall JD, Richards FR, Eisenberg DS, editors. San Diego: Academic; 1992.
- De Kruif C, Tuinier R. Polysaccharide protein interactions. Food Hydrocolloids. 2001;15(4-6):555-63.
- V.B.Tolstoguzov. Functional properties of food proteins and role of protein-polysaccharide interaction. Food Hydrocolloids. 1991;4(6):429-68.
- Everett DW, McLeod RE. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. Int Dairy J 2005; 15(11): 1175-83.
- Hansen PMT. Food hydrocolloids: structures, properties and functions. In: Nishinari K, Doi E, editors. Food hydrocolloids in the dairy industry. New York: Plenum Press; 1993. 211-24.
- Pedersen HCA, Jorgensen BB. Influence of pectin on the stability of casein solutions studied in dependence of varying pH and salt concentration. Food Hydrocolloids 1991;5(4):323-8.
- Lucey JA, Tamehana M, Singh H, Munro PA. Stability of model acid milk beverage: Effect of pectin concentration, storage temperature and milk heat treatment. J Texture Studies 1999;30(3):305-18.
- Laurent MA, Boulenguer P. Stabilization mechanism of acid dairy drinks (ADD) induced by pectin. Food Hydrocolloids 2003;17(4):445-54.
- Tromp RH, de Kruif CG, van Eijk M, Rolin C. On the mechanism of stabilisation of acidified milk drinks by pectin. Food Hydrocolloids 2004;18(4):565-72.
- Jensen S, Rolin C, Ipsen R. Stabilisation of acidified skimmed milk with HM pectin. Food Hydrocolloids. 2010;24(4):291-9.
- Weinbreck F. Whey Protein/Polysaccharide Coacervates: Structure and Dynamics: [dissertation] Netherlands Utrecht University; 2004.
- Köksoy A, Killic M. Effects of water and salt level on rheological properties of ayran, a Turkish yoghurt drink. Int Dairy J 2003;13(10):835-9.
- Lucey JA, Van Vliet T, Grolle K, Geurts T, Walstra P. Properties of acid casein gels made by acidification with glucono- $\delta$ -lactone. Int Dairy J 1997;7(6-7): 381-8.

20. Abu-Jdayil B, Mohameed H. Experimental and modelling studies of the flow properties of concentrated yogurt as affected by the storage time. *J Food Eng* 2002;52(4):359-65.
21. Imeson A. Thickening and gelling agents for food. : second edition, London, Springer Us; 1999.
22. Anderson DMW. Evidence for the safety of gum tragacanth (*Asiatic Astragalus* spp.) and modern criteria for the evaluation of food additives. *Food Addit Contam* 1989;6(1):1-12.
23. Glicksman M. Gum technology in the food industry. New York: Academic Press; 1969.
24. Balaghi S, Mohammadifar M, Zargaraan A. Physicochemical and rheological characterization of gum tragacanth exudates from six species of Iranian *Astragalus*. *Food Biophys*. 2010;5(1):59-71.
25. Wang Weiping, Branwell A. Tragacanth and karaya. In: Phillips G, Williams P, editors. Handbook of hydrocolloids. Cambridge: CRC Press; 2000. 231-46.
26. Mohammadifar MA, Musavi SM, Williams PA. Study of complex coacervation between  $\beta$ -lactoglobulin and tragacanthin (soluble part of gum tragacanth). *Milchwissenschaft* 2007;62(4):389-92.
27. Foroughinia S, Abbasi S, Hamidi Z. Effect of individual and combined addition of salep, tragacanth and guar gums on the stabilization of Iranian Doogh. *IJNFT* 2007;2(2):15-25. [in Persian].
28. Azarikia F, Abbasi S. On the stabilization mechanism of Doogh (Iranian yoghurt drink) by gum tragacanth. *Food Hydrocolloids* 2010;24(4):358-63.
29. McClements D. Food emulsions: principles, practices, and techniques: CRC from oca Raton. Florida,. USA.: 2005.
30. Towler C. Sedimentation in a cultured milk beverage. *New Zealand J Dairy Sci & Tech* 1984;19(3):205-11.
31. Ozen AE, Kilic M. Improvement of physical properties of nonfat fermented milk drink by using whey protein concentrate. *J Texture Studies* 2009;40(3):288-99.
32. Kravtchenko TP, Parker A, Trespoey A. Colloidal stability and sedimentation of pectin-stabilized acid milk drinks. In: Dickinson E, Lorient D, editors. Food macromolecules and colloids. Cambridge: Royal Society of Chemistry; 1995. 349-55.
33. Penna ALB, Sivieri K, Oliviera MN. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. *J Food Eng* 2001;49(1):7-13.
34. Koksoy A, Kilic M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids* 2004;18(4):593-600.
35. Kiani H, Mousavi SMA, Emam-Djomeh Z. Rheological properties of Iranian yoghurt drink, Doogh. *Int J Dairy Sci* 2008;3(2):71-8.
36. Zwanzig R, Mountain R. High-frequency elastic moduli of simple fluids. *J Chem Phys* 1965;43:4464.
37. Bergenholtz J, Willenbacher N, Wagner N, Morrison B, Van den Ende D, Mellema J. Colloidal charge determination in concentrated liquid dispersions using torsional resonance oscillation. *J Colloid & Interface Sci* 1998;202(2):430-40.

## Influence of three types of Iranian gum tragacanth on rheological properties and stabilization of fat-free *Doogh*, an Iranian yoghurt drink

Ghorbani Gorji E<sup>1</sup>, Mohammadifar MA<sup>\*2</sup>, Ezzatpanah H<sup>3</sup>, Mortazavian AR<sup>4</sup>

1- M.Sc. in Food Science & Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Corresponding Author: Assistant prof, Dept. of Food Science and Technology, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

E-mail: Mohamdif@ut.ac.ir

3- Assistant prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Assistant prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Nutrition and Food Sciences, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Received 5 Jul, 2010

Accepted 23 Oct, 2010

**Background and Objective:** *Doogh* is an Iranian traditional beverage based on yoghurt. In this product, serum separation occurs during storage due to its low pH. In recent years, studies have been conducted on the stabilization of *doogh* using hydrocolloids. The objective of this study was to compare the effects of different species of gum tragacanth (*Astragalus gossypinus*, *Astragalus rahensis*, and *Astragalus flucosus*) on the stabilization and rheological properties of this typical Iranian dairy drink during storage.

**Materials and Methods:** Gum solutions were added to *Doogh* samples prepared from yoghurt made with skim milk. Phase separation was measured using graduated cylinders during storage (30 days), and particle size distribution at ambient temperature was determined by laser diffractometry. Furthermore, steady and unsteady rheological tests were carried out using a controlled shear rate rheometer (CSR) at 3°C. Finally, sensory analysis was performed with 30 panelists familiar with the product, using a 5-point hedonic scale.

**Results:** In the samples containing 0.3% (w/w) *A. gossypinus* no phase separation occurred during the 30-day period. The data on particle size distribution indicated that addition of gum tragacanth resulted in a reduction in the size of aggregated particles, specially in the sample containing *A. gossypinus*. The apparent viscosity in this sample was higher than in the other samples. Also, its sensitivity to frequency (range = 0.01-10 Hz) was much less, which is very important from an industrial point of view. In addition, based on the sensory evaluation data, the sample containing *A. gossypinus* was the most acceptable product.

**Conclusion:** The higher content of uronic acid and insoluble part of *A. gossypinus* can be the most probable reasons for the stabilized dispersion caused by *A. gossypinus* as compared to that caused by the other two species at the same concentration (0.3% w/w) in *doogh*.

**Keywords:** Fat-free *Doogh*, Stabilization, Hydrocolloids, Rheology, Gum tragacanth