

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

الهام قربانی‌گرجی^۱، محمد امین محمدی‌فر^۲، حمید عزت‌پناه^۳، امیرمحمد مرتضویان^۴

- 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، استیتو 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 پایدارسازی دوغ با استفاده از هیدروکلریدهای مختلف صورت گرفته است. هدف از این مطالعه، مقایسه تأثیر سه گونه مختلف کتیرای ایرانی (آسترالکالوس گوسیپینوس، آسترالکالوس فلوکوسوس و آسترالکالوس راهنسیس) بر خصوصیات رئولوژیک و پایداری این نوشیدنی لبني 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 آسترالکالوس 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 تجمع یافته بعد از افزودن صمغ و به خصوص گونه آسترالکالوس گوسیپینوس صمغ کتیرا بود. از طرفی، گرانوی ظاهری نمونه دوغ حاوی این گونه، بیشتر از گونه‌های دیگر بود و حساسیت آن به افزایش فرکانس (در دامنه فرکانس ۱۰/۰ 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 آسترالکالوس گوسیپینوس نسبت به دو گونه دیگر می‌تواند عاملی برای ایجاد یک دیسپرسیون کلوریدی پایدارتر توسط این گونه در مقایسه با دو گونه دیگر در غلظت‌های مساوی باشد.

واژگان کلیدی: دوغ بدون چربی، پایداری، هیدروکلریدها، 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 نوع فراوان و نامهای متفاوتی دارند؛ از جمله، ماست نوشیدنی (drink yoghurt) در اروپا، کفیر و کومیس در خاورمیانه، آیران (Ayran) در ترکیه و دوغ در ایران (۲، ۱). کلمه "دوغ" از واژه فارسی "دوشیدن" اقتباس شده است و در لغت به معنای ماده حاصل از دوشیدن است. در گذشته "دوغ" به فراورده‌ای

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 پلی‌ساقارید، pH و غلظت نهایی محصول بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی سیستم‌های پروتئین - پلی‌ساقارید تأثیر فراوانی دارند (۱۷). همچنین، افزودن نمک به محصولی مانند دوغ آباندازی آن را از طریق افزایش پیوندهای پروتئین-پروتئین افزایش می‌دهد (۱۸-۲۰). صمغ کتیرا یکی از قدیمی‌ترین صمغ‌هایی است که توسط بشر شناسایی شده است. این صمغ تراوه خشک شده طبیعی حاصل از برخی گونه‌های آسترگالوس است و به عنوان یک GRAS (Generally Recognized As Safe) قرار دارد (۲۱، ۲۲). 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 دمتوكسیله شدن احتمالاً به تراگاکانتین تبدیل می‌شود (۲۳). بالغی 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).

همان طور که قبل از 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 هیدروکلوفیدها (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 آسترگالوس گوسیپینوس) نشان داد که نقش اساسی در پایدارسازی دوغ بر عهده تراگاکانتین از طریق واکنش‌های الکترواستاتیک با کازئین است. باسورین نیز با افزایش گرانوی فاز پیوسته، نقش کمکی دارد (۲۸).

در این پژوهش توانایی سه گونه صمغ کتیرا گونه‌های آسترگالوس گوسیپینوس، آسترگالوس فلوكوسوس و A. gossypinus, A. rahensis and A. fluccosus را توانیم (۲۹). 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 آب میوه یا اسیدی کننده‌های شیمیایی است (۶، ۷). در pH طبیعی شیر، میسل‌های کازئین به دلیل دافعه فضایی کازئین‌های لایه موبی یا برس مانند (polymer brush repulsion) پایدار هستند (۴). با توجه به مدل هالت (Holt's model) طی اسیدی کردن، کاپا کازئین‌ها افت کرده و موجب تجمع میسل‌های کازئین در pH (pH ۴/۶-۴/۹) نزدیک به pH ایزوکلریک کازئین‌ها می‌شوند (۹، ۱۰). به دلیل پایین بودن pH در نوشیدنی‌های اسیدی لبنی (۳/۴-۴/۶)، برای جلوگیری از تجمع پروتئین‌ها و آب اندازی در این محصولات از پایدارکننده‌های متنوعی استفاده می‌شود که معمول‌ترین آن‌ها هیدروکلوفیدها هستند (۹، ۱۱).

به طور کلی، هیدروکلوفیدها در نوشیدنی‌های اسیدی لبنی به دو صورت عمل می‌کنند: یا به عنوان یک عامل قوام‌دهنده (thickening agent) مانند صمغ لوپیای خرونوب، آژنیات، زانتان و گوار یا هیدروکلوفیدهای آنیونی مثل پکتین، کتیرا، لاندکاراگینان و کربوکسی متیل سلولز که با کازئین‌های دارای بار مثبت وارد واکنش می‌شوند (۱۱، ۱۰). برای داشتن تصور بهتری از سازوکار پایدارسازی هیدروکلوفیدها در محصولات لبنی اسیدی، تحقیقات بسیاری در سیستم‌های مدل و سیستم‌های واقعی انجام شده است. مطالعات انجام شده در خصوص سیستم مدل حلول کازئین نشان داد که افزودن پکتین به این محلول موجب می‌شود تا کازئین‌ها در pH پایین تری 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 متوكسیل بالا

خشک بدون چربی آن‌ها به ترتیب روی $12 \pm 3/93$ و $13 \pm 4/33$ ٪ 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، دریندی توسط پارافیلم انجام شد. نمونه‌ها به یخچال منتقل شده و در دمای 3°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 $d(0/1)$, $D[4,3]$, $d(0/5)$, $D[3,2]$, span, uniformity $d(0/9)$ و $d(0/05)$ به ترتیب نمایانگر 10% , 50% و 90% 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 (29). Span اندازه پهنه‌ای 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:

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

$D[3,2]$ و $D[4,3]$ نوعی قطر معادل هستند و مقدار آن‌ها از فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود:

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

آزمون‌های رئولوژیک: کلیه آزمون‌ها با استفاده از دستگاه رئومتر چرخشی MCR 301 physica ساخت شرکت Anton paar اتریش انجام شد. برای تنظیم دما سیستم Peltier با حساسیت 1 ± 0.01 مجهز به سیرکولاتور آب به کار رفت. به دلیل رقیق بودن نمونه‌ها و به منظور توسعه اندازه-گیری تا نرخ برش‌های پایین مطابق استاندارد DIN54453 از ژئومتری استوانه هم‌محور دوگانه به ارتفاع ۴۰ میلی‌متر و قطر به ترتیب از داخل به خارج $27/59$ ، $27/66$ و $23/82$ 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 پایدارسازی دوغ در مدت زمان ماندگاری (30 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 آسترالوس گوسپینوس، آسترالوس فلوکوسوس و آسترالوس راهنیسیس از استان‌های اصفهان، خراسان و سمنان در مرداد ماه سال ۱۳۸۶ جمع آوری شد. نمونه‌ها با استفاده از آسیاب، پودر شد و با استفاده از الکهایی با مشاهی مختلف، پودرهایی بین 200 تا 500 میکرون به دست آمد. پراکنش‌های سه گونه صمغ کتیرا در سه غلظت $0/1$ ، $0/2$ و $0/3$ درصد وزنی در آب $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$ مقطر آماده شدند. پراکنش‌ها به مدت یک روز در 0°C برای جذب کامل آب نگهداری شدند.

تهیه نمونه‌های دوغ: شیر تازه بدون چربی ($0/05$) تهیه شده از خط تولید کارخانه لبندیات پاک در آزمایشگاه توسط دستگاه همگنس‌ساز (AVP، دانمارک) در عملیات همگنس‌سازی دو مرحله‌ای (140 و 60 بار) همگن و به دستگاه ویسکوباتور (رباط مخزن، ایران) منتقل شد. در ویسکوباتور به مدت 15 دقیقه در دمای 90°C تحت تیمار گرمایی قرار گرفت، سپس تا دمای $40-44^{\circ}\text{C}$ خنک شد و عمل تلقیح در همین دما با کشت آغازگر Yo-mix 601 و Yo-mix 502 و Yo-mix 50U (Danisco Co.) انجام گرفت. نمونه‌ها تا رسیدن به pH مطلوب ($7/76 \pm 0/05$) در دمای 42°C گرمخانه گذاری شدند. در نهایت، نمونه‌ها در دمای 5°C نگهداری شدند. برای تولید دوغ از 40% وزنی ماست، $59/4\%$ وزنی آب مقطر (که قبل ایک سوم آن به صمغ اضافه شده بود)، $0/16\%$ وزنی نمک طعام (درجه خلوص $99/5\%$) و محلول صمغ استفاده شد. سپس همگن سازی یک مرحله‌ای (150 بار) انجام شد و دوغ حاصل در دستگاه ویسکوباتور در دمای 85°C به مدت 1 دقیقه تحت تیمار گرمایی قرار گرفت. نمونه‌های دوغ پس از رسیدن به دمای 14°C در ظروف پر شدند و در دمای 3°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).

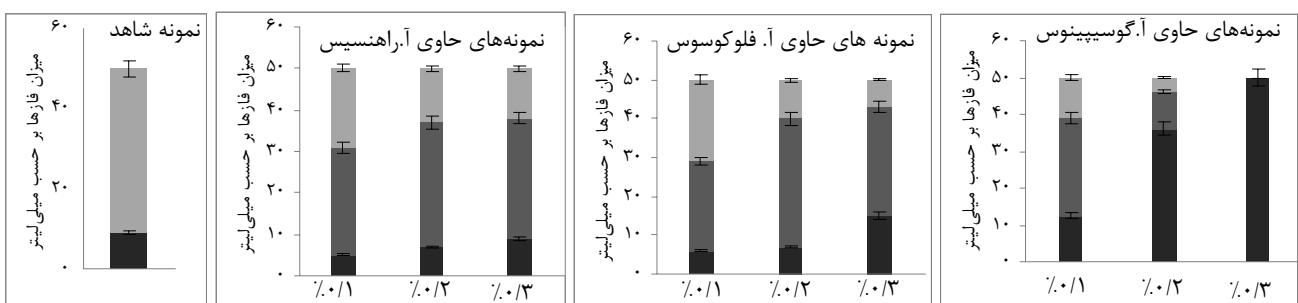
تجزیه و تحلیل آماری: همه آزمون‌ها با سه بار تکرار انجام شد. برای گزارش اطلاعات به دست آمده از تکرار آزمایشات و مشاهدات از میانگین استفاده شد. برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS^۶، آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن F-value ($P < 0.05$) از آزمون دانکن چند دامنه جهت تجزیه و تحلیل میانگین‌ها استفاده شد.

۳. یافته‌ها

جدایی فازها: پس از مدتی در دوغ‌های قرار داده شده در استوانه‌های مدرج و نگهداری شده در دمای 30°C سه فاز تفکیک شده از یکدیگر تشکیل شد (شکل ۱). در دوغ‌های حاوی گونه‌های آسترگالوس راهنسیس (A.R) و آسترگالوس فلوکوسوس (A.F) در تمامی غلظت‌ها (۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳) و در دوغ‌های حاوی کتیرای گونه آسترگالوس گوسپیپینوس (A.G) در غلظت‌های ۰/۰۱ و ۰/۰۲ سه فاز تشکیل شد که شامل یک فاز رویی شفاف، فاز میانی کدر و فاز زیری مات بود. نمونه حاوی غلظت 0.03% صمغ کتیرای گونه A.G هیچ گونه جدایی فازی را در طول ۳۰ روز نشان نداد و نمونه شاهد دارای بیشترین آbandازی و فاقد فاز میانی بود. آب اندازی 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 هم محور 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^۷ 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 5°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 5°s^{-1} تا $1000^{\circ}\text{s}^{-1}$ برای همه نمونه‌ها توسط دستگاه به دست آمد. سپس مدل‌های قانون توان (Power law)، هرشل بالکلی (Cross) و کراس (Herschel–Bulkley) 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 روش کرنش، آزمون روش بسامد (frequency) در کرنش ثابت 2% و بسامد متغیر از $0.01\text{--}0.1$ تا $10\text{--}100\text{ هرتز}$ انجام شد.

آزمون ارزیابی حسی: برخی از ویژگی‌های حسی نمونه‌ها (شامل: ظاهر، رنگ، بو، قوام، مزه و پذیرش کلی) در چهار جوب 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 $30^{\circ}\text{C} \pm 3$ (تیره‌تر شدن رنگ، نشان دهنده سنگین‌تر شدن فاز است).

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

توزیع اندازه ذرات: داده‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات نمونه شاهد دوغ و نمونه‌های دوغ حاوی غلظت 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 پایدارسازی دوغ، توزیع اندازه ذرات این نمونه‌ها اندازه گیری شد. نمونه شاهد دارای کمترین uniformity و بیشترین d(0/5) بود (جدول ۱) و d(0/5) به ترتیب در نمونه‌های حاوی A.R و A.G کاهش d(0/5) یافت. در مقابل، نمونه حاوی A.G 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 ۳٪ نمونه‌های حاوی سه گونه کتیرای ایرانی در شکل ۲ نشان داده

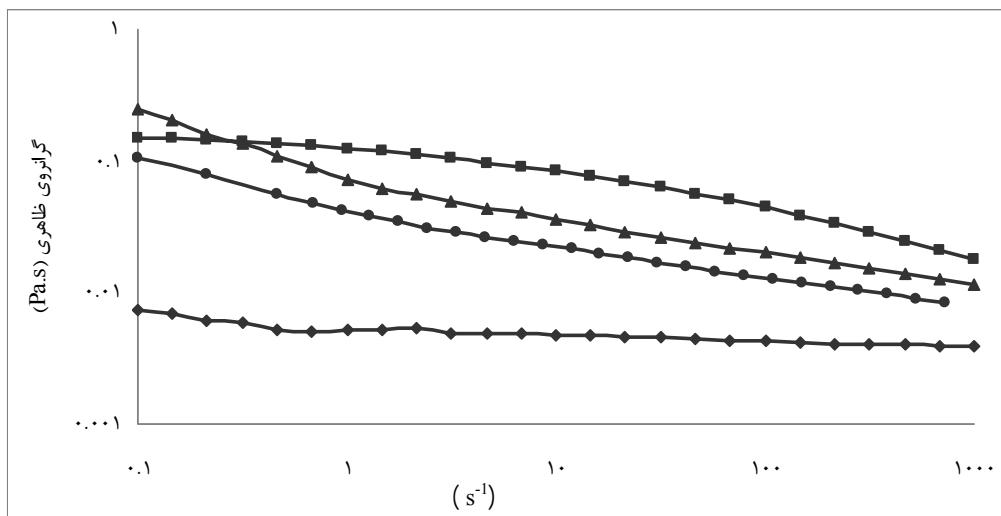
جدول ۱- داده‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات نمونه شاهد دوغ و نمونه‌های دوغ حاوی غلظت ۳٪ صمغ گونه‌های آ.فلوکوسوس (A.g)، آ.رهنسیس (A.r) و آ.گوسیپینوس (A.f)

| نمونه‌های دوغ | شاخص‌های توزیع اندازه ذرات | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|--------------|----------------|----------------|---------------|--------------|--------|
| d(0/9)µm | d(0/5)µm | d(0/1)µm | D[4,3]µm | D[3,2]µm | Span | Uniformity | |
| a۴۵۳/۲۳۶±۱۳/۵۹۷ | d۵/۳۲۲±۰/۱۵۹ | d۱/۳۸۶±۰/۰۴۱ | a۱۶۸/۱۷۸±۵/۰۴۵ | c۳/۵۲۹±۰/۱۰۵ | a۸۴/۹۰۸±۲/۵۴۷ | a۳۱/۱±۰/۹۳۳ | %/۳A.g |
| c۳۳/۷۲۳±۱/۳۴۸ | c۱۱/۹۱۲±۰/۴۷۶ | b۲/۴۵۳±۰/۰۹۸ | b۴۸/۳۴۶±۱/۹۳۳ | b۵/۷۴۶±۰/۲۲۹ | b۲/۶۲۵±۰/۱۰۵ | b۳/۵۵۰±۰/۱۴۲ | %/۳A.r |
| b۴۵/۵۹۶±۱/۸۲۳ | b۱۵/۲۴۴±۰/۶۰۹ | c۲/۲۲۲±۰/۰۸۸ | c۳۸/۴۲۴±۱/۵۳۷ | b۵/۷۹۶±۰/۲۳۱ | b۲/۸۴۵±۰/۱۱۳ | c۲/۰۸۰±۰/۰۸۳ | %/۳A.f |
| b۶/۴۶۲±۲/۳۲۳ | a۲۲/۹۹۴±۱/۱۴۹ | a۵/۳۵۰±۰/۲۶۷ | d۲۵/۰۲۷±۱/۲۵۱ | a۱۰/۴۰۴±۰/۰۵۲۰ | c۱/۷۸۸±۰/۰۸۹ | d۰/۵۳۳±۰/۰۲۶ | شاهد |

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت نشان دار شده‌اند، به طور معنی‌دار با یکدیگر متفاوت هستند ($p < 0.05$).

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

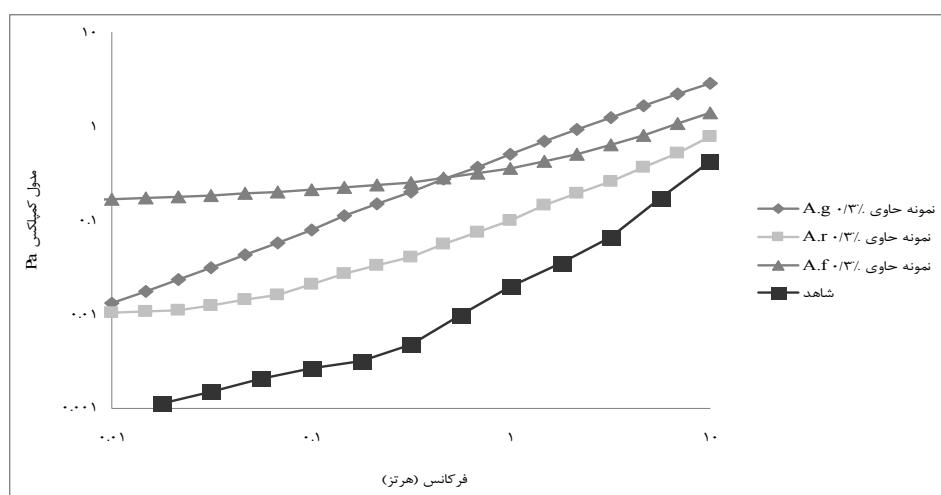
| $\frac{\eta - \eta_\infty}{\eta_s - \eta_\infty} = \frac{1}{(1 + (k \times t)^m)}$ کراس | | | | | $T = m \dot{\gamma}^n + T_0$ هرشل بالکلی | | | | $T = m \dot{\gamma}^n$ قانون توان | | | |
|---|----------------|----------------|-----------------------|---------------------------------------|--|---------|-----------------------|-----------|-----------------------------------|----------------|-------------------------------------|------|
| R ² | m ^r | k ^e | η_s ^d | η_0 ^c - η_∞ | R ² | n | m(pa.s ⁿ) | τ_0 | R ² | n ^b | m ^a (pa.s ⁿ) | |
| N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 0.99961 | 0.94926 | 0/0.041 | -0/0.0007 | 0.9997 | 0/96830 | 0/00510 | شاهد |
| 0.99946 | 0/45777 | 0/۳۴۶۰۱ | 0 | 0/16804 | 0.97476 | 0/72016 | 0/14751 | -0/0.1503 | 0.89365 | 0/77164 | 0/11905 | A.G |
| N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 0.99982 | 0/76112 | 0/05981 | 0/0.1447 | 0.97595 | 0/68860 | 0/0.8367 | A.F |
| N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | 0.99981 | 0/77881 | 0/03574 | 0/0.0458 | 0.99778 | 0/75831 | 0/0.3950 | A.R |



شکل ۲- گرانروی ظاهری نمونه‌های دوغ حاوی غلظت $0.0/0.3\%$ سه گونه صمغ کتیرا در دمای 30°C
(◆ A.G (■), A.F (▲), A.R (●) شاهد)

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 تانزانت افت آورده شده است. بیشترین مدول ویسکوز، مدول الاستیک و گرانروی کمپلکس به ترتیب مربوط به نمونه‌های حاوی $A.G$, $A.F$ و $A.R$ شاهد بود.

ویژگی‌های رئولوژیک نوسانی: مدول کمپلکس نمونه‌های حاوی غلظت $0.0/0.3\%$ سه گونه کتیرا را در مقایسه با نمونه شاهد در نمودار ۳ مشاهده می‌شود. دوغ حاوی غلظت $0.0/0.3\%$ 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 شبیه



شکل ۳- نمودار مدول کمپلکس در برابر بسامد در نمونه شاهد دوغ و نمونه‌های دوغ حاوی غلظت‌های $0.0/0.3\%$ 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.R ، A.F و نمونه شاهد دارای اختلاف معنی‌داری 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 معنی‌داری میان نمونه‌های حاوی A.F 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 کثیراً دیده شد. همچنین، تفاوت معنی‌داری میان پذیرش کلی نمونه‌های حاوی A.F و نمونه شاهد مشاهده نشد. در بررسی ظاهر نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده شد و نمونه حاوی A.G از نظر ارزیابها دارای بهترین ظاهر و رنگ و نمونه شاهد، دارای نامطلوب‌ترین ظاهر

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

| $\tan\delta$ | | $\eta^*(Pa.s)$ | | $G''(Pa)$ | | $G'(Pa)$ | | نمونه‌ها |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 0/Hz | 1Hz | 10Hz | 1Hz | 10Hz | 1Hz | 10Hz | 1Hz | |
| b ³ /۷۱۸±۰/۱۴۹ | b ³ /۱۴۳±۰/۱۲۶ | a۴۵/۶۳۵±۱/۸۲۵ | a۸۱/۱۳۴±۳/۲۴۵ | a۲/۷۴۰±۰/۱۹۶ | a ^۰ /۴۸۵۸±۰/۰۱۹۴ | a ^۰ /۸۴۴۸±۰/۰۳۲۸ | a ^۰ /۱۵۴۵±۰/۰۰۶۲ | نمونه حاوی (٪/۰/۳A.g) |
| d ¹ /۴۲۸±۰/۰۵۷ | c ^۲ /۰۱۳±۰/۰۸۱ | b۲۲/۴۱۰±۰/۰۸۱ | b۵۷/۶۰۳±۲/۳۰۴ | b ^۱ /۴۰۴۰±۰/۰۶۵۲ | b ^۰ /۳۲۴۱±۰/۰۱۳۰ | b ^۰ /۱۰۷۰±۰/۰۰۴۳ | a ^۰ /۰۰۶۴±۰/۱۶۱۰ | نمونه حاوی (٪/۰/۳A.f) |
| c ^۱ /۷۹۳±۰/۰۷۲ | a۴/۲۳۵±۰/۱۶۹ | c ^۱ ۲/۴۶۵±۰/۴۹۹ | c ^۱ ۵/۹۲۲±۰/۶۳۷ | c ^۰ /۷۸۲۲±۰/۰۳۱۳ | c ^۰ /۰۹۷۴±۰/۰۰۳۹ | - | b ^۰ /۰۲۳۰±۰/۰۰۰۹ | نمونه حاوی (٪/۰/۳A.r) |
| a ^۵ /۳۱۳±۰/۲۱ | - | d ^۶ /۷۷۶±۰/۲۷۱ | d ^۴ /۳۲۴±۰/۱۷۳ | - | d ^۰ /۰۲۶۷±۰/۰۰۱۱ | - | c ^۰ /۰۰۴۵±۰/۰۰۰۲ | شاهد |

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت نشان‌دار شده‌اند، به طور معنی‌داری با یکدیگر متفاوت هستند ($p < 0.05$).

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

| A.R | A.F | A.G | شاهد | شاخص‌های ارزیابی حسی |
|---------------------|--------------------|-------|--------------------|----------------------|
| b ^۲ /۸۳ | c ^۲ /۳۲ | a۴/۵۶ | c ^۱ /۷۶ | ظاهر |
| b ^۳ /۲۳ | b ^۳ /۱ | a۴/۲۶ | b ^۲ /۹ | رنگ |
| b ^۲ /۸۳ | c ^۲ /۸۷ | a۳/۷۳ | c ^۲ /۹۷ | بو |
| b ^۳ /۲۷ | b ^۳ /۳ | a۴/۰۷ | b ^۳ /۰۷ | قوام |
| ab ^۳ /۲۳ | b ^۱ /۷۳ | a۳/۷۳ | a ^۳ /۱۳ | طعم |
| b ^۳ /۰۸ | b ^۲ /۶۶ | a۴/۰۷ | b ^۲ /۷۷ | پذیرش کلی |

* میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف انگلیسی متفاوت نشان‌دار شده‌اند، به طور معنی‌داری با یکدیگر متفاوت هستند ($p < 0.05$).

• بحث

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

توزيع 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 0.3% به خصوص هنگامی که از A.G استفاده می‌شود، ذرات کازئین از دو طریق مانع فضایی و افزایش دافعه الکترواستاتیک، احتمالاً به دلیل افزایش پتانسیل زتای منفی از یک طرف و از سوی دیگر افزایش گرانروی فاز پیوسته به وسیله باسورین، با کاهش ابعاد ذرات تجمع یافته به حدود ۲۷۵ نانومتر تا ۱۰۰۰ 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 (0.70%) 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 0.3% 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 (۰، ۳۰، ۱۳). در پژوهش حاضر با افزودن سه گونه کتیرا جدایی فازی به طرز چشمگیری کاهش یافت؛ به طوری که در غلظت 0.3% صمغ‌های A.R و A.F آب‌اندازی به ترتیب به میزان $100\% / 73\% / 70\% / 93\%$ 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.R و A.F به ترتیب $0.5 / 5 / 3 / 51\%$ است (۲۴). همچنین، جزء محلول صمغ قادر به برهم‌کش الکترواستاتیک با پروتئین‌ها است، در صورتی که به نظر می‌رسد باسورین تمايلی به واکنش با پروتئین‌ها ندارد و احتمالاً از طریق افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته باعث کاهش آب‌اندازی نمونه‌های دوغ می‌شود (۲۶، ۲۸). مطالعه حاضر نشان داد که نتایج پیشین و تفسیر آن‌ها به گونه کتیرای مورد استفاده بستگی زیادی دارد. همچنین، در مطالعات پیشین دوغ حاوی 6% ماده خشک و 1% چربی با 0.2% کتیرای گونه A.G مورد آزمون بود، حال آنکه در پژوهش حاضر دوغ بدون چربی با غلظت 0.3% 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 متوكسیل بالا بهترین نقش را در پایدارسازی دارد، در صورتی که پکتین با متوكسیل 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 گرانروی 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 $0.0/3\%$ صمغ کتیرای گونه A.G بیشترین است. همواره در تمامی بسامدهای اعمال شد. "G' بود و ساختار ژل‌مانند (Gel-like structure) در نمونه‌ها مشاهده شد. بنابراین، افزایش پایداری در این نمونه‌ها را نمی‌توان به ایجاد شبکه و به دام انداختن آب در آن نسبت داد (۱۶). همچنین، مقایسه تائزانت 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 تائزانت 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 Brownian motion (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 برونی 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 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 گرانروی فاز پیوسته می‌شود از طرف دیگر موجب پایدارتر 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 نیوتونی از خود نشان داد. البته، برخی نوشیدنی‌های اسیدی لبني حتی در عدم حضور هیدروکلوریک‌ها نیز از خود رفتار سودوپلاستیک نشان می‌دهند (۳۴، ۳۳، ۳۳). می‌توان این رفتار را به میزان بالای ماده خشک آن‌ها در مقایسه با دوغ نسبت داد که موجب افزایش برهمنش‌های داخلی بین ذرات می‌شود و ماده از خود خاصیت سودوپلاستیک نشان می‌دهد (۳۵). در همه نمونه‌های حاوی صمغ، کاهش ناگهانی، گرانروی در نرخ برش‌های پایین رخ داد، در صورتی که بعد از این کاهش ناگهانی، گرانروی ظاهری نمونه‌ها با شبکه کمتری کاهش یافت. این رفتار را می‌توان به کاهش اندازه ذرات در نرخ برش‌های بالا نسبت داد (۲۹).

با افزایش گرانروی ظاهری در تمام نمونه‌ها، آباندازی کاهش یافت. به دلیل بیشتر بودن گرانروی ظاهری نمونه حاوی صمغ کتیرای گونه A.G آباندازی در این نمونه از نمونه‌های دیگر کمتر بود. به طوری که در غلظت $0.0/3\%$ این گونه آباندازی پس از ۳۰ روز هم مشاهده نشد. از یک سو، افزایش گرانروی فاز پیوسته به وسیله جزء نامحلول صمغ (باسورین) مانع تهنشینی پروتئین‌های موجود در دوغ و کمپلکس‌های ناشی از برهمنش پروتئین و جزء محلول صمغ کتیرا می‌شود و از سوی دیگر، تشکیل کمپلکس‌های محلول پروتئین- پلی‌ساقارید که باعث مانع فضایی و دافعه الکترواستاتیک می‌شوند، موجب کاهش آباندازی در نمونه‌های دوغ می‌شود. احتمال می‌رود که تشکیل کمپلکس‌های پروتئین- پلی‌ساقارید 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 لبني پایدار شده با پکتین نیز مشاهده شده است (۳۲).

در مدل‌های برازش شده بر داده‌های حاصل از نمودار نرخ برش- تنش برشی نشان داد که با افزودن صمغ، مدل برازشی از قانون توان به هرشل بالکلی تغییر می‌کند و در نمونه‌های حاوی غلظت $0.0/3\%$ A.G بهترین برازش با مدل

در مجموع، قابلیت گونه‌های مختلف کتیرای ایرانی در پایدار سازی دوغ متفاوت است. کتیرا با افزایش گرانروی 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 پلی‌ساقاریدهای موجود در صمغ به لحاظ محتوای اورونیک اسید و نوع قندهای خنثی مهم‌ترین عامل مؤثر کیفیت صمغ در پایدارسازی دوغ است.

مقایسه حساسیت تائزانت افت در آزمون روش بسامد در نمونه‌های دوغ حاوی غلظت 0.03% . 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 *G* به افزایش بسامد است. از آنجا که بسامدهای بالا می‌توانند 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, Dalgleish 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, Kılıç 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- δ -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 β -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. Bergenholz 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 tragacanths on rheological properties and stabilization of fat-free *Doogh*, an Iranian yoghurt drink

Ghorbani Gorji E¹, Mohammadifar MA^{*2}, Ezzatpanah H³, Mortazavian AR⁴

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 fluccosus*) 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