مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال چهارم، شماره۱، بهار ۱۳۸۸ ، صفحات ۲۲-۱۱

بررسی کارایی و سازوکار برخی ترکیبات هیدروکلوئیدی در جلوگیری از دو فاز شدن دوغ

فاطمه آذری‌کیا[۱]، سلیمان عباسی[۲]، محمدحسین عزیزی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، پست الکترونیکی: sabbasifood@modares.ac.ir
۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۴ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: دوغ نوعی نوشیدنی تخمیری است که از اختلاط ماست با آب و مقداری نمک تهیه می‌شود. دو فاز شدن این فراورده در طول زمان نگهداری، مشکل عمده‌ای است که از پایین بودن pH و تجمع کازئین‌ها ناشی می‌شود. بنابراین، در پژوهش حاضر ضمن بررسی کارایی برخی مواد هیدروکلوئیدی در جلوگیری از دو فاز شدن دوغ، سازوکار پایدارسازی دوغ توسط کتیرا به عنوان یک نوع صمغ بومی بررسی شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، تأثیر غلظت‌های مختلف پکتین با درجه متوکسیل بالا، کتیرا و صمغ لوبیای خرنوب به‌صورت تکی و ترکیبی، تراگاکانتین و پلی‌ساکاریدهای محلول سویا بر پایداری دوغ ترش و تأثیر کتیرا و صمغ لوبیای خرنوب در پایدارسازی دوغ پربیوتیک (دوغ حاوی اینولین) به‌مدت ۳۰ روز بررسی شد. هم‌چنین، به منظور شناسایی و تعیین سازوکارهای پایدارسازی هیدروکلوئیدهای مورد استفاده، ویژگی‌های رئولوژیکی، مقادیر پتانسیل زتا و مشاهدات ریزساختاری دوغ‌های پایدار شده ارزیابی شد.

یافته‌ها: استفاده از تراگاکانتین، کتیرا و صمغ لوبیای خرنوب به‌ترتیب در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد به مدت ۳۰ روز و پلی‌ساکاریدهای نوع M متوکسیل‌زدایی شده در غلظت ۰/۶ درصد به مدت ۶ روز از دو فاز شدن دوغ جلوگیری کرد. هم‌چنین، ترکیب کتیرا و صمغ لوبیای خرنوب در غلظت ۰/۲ درصد و نسبت‌های ۸۰: ۲۰ و ۵۰: ۵۰ سبب پایداری کامل دوغ شد. از طرف دیگر، وجود اینولین در ترکیب ماست، تأثیر مثبتی بر پایداری دوغ حاصل نداشت. در حالی‌که کتیرا و صمغ لوبیای خرنوب مانع دو فاز شدن دوغ پربیوتیک شدند. مطابق یافته‌های این پژوهش، مناسب‌ترین مدل برای نمونه شاهد و نمونهٔ دارای پلی‌ساکارید نوع M مدل نیوتنی و برای سایر نمونه‌ها مدل قانون توان شناخته شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد که نقش اساسی در ایجاد پایداری دوغ توسط کتیرا بر عهده تراگاکانتین (بخش محلول) بود و احتمالا این ترکیب توانست با جذب شدن در سطح کازئین‌ها (به واسطه سازوکارهای ممانعت فضایی و الکترواستاتیک) موجب پایداری محصول شود. هم‌چنین، یافته‌ها نقش کمکی باسورین در ایجاد پایداری با افزایش گرانروی را به اثبات رساند. به این ترتیب، می‌توان از این ترکیب به عنوان یک صمغ جاذب در جلوگیری از دو فاز شدن دوغ ترش استفاده کرد.

واژگان کلیدی: دوغ، سازوکار پایدارسازی، هیدروکلوئید، کتیرا، رئولوژی

• مقدمه

دوغ یکی از نوشیدنی‌های سنتی ایرانیان و برخی ملل دیگر در اروپای شرقی، خاورمیانه و آسیا به شمار می‌آید (۲، ۱). این فراورده از رقیق کردن ماست با آب آشامیدنی (۳)، آب‌پنیر تخمیر شده و یا دوغ کره به دست می‌آید. هم‌چنین، گیاهان معطر خوراکی نظیر نعناع، پونه، کاکوتی و یا اسانس طبیعی آنها نیز می‌توانند در فرمولاسیون دوغ مورد استفاده قرار گیرند (۱). دوغ فواید بسیاری دارد که استفاده از ریزسازواره‌های پروبیوتیک (Probiotic) و ترکیبات پربیوتیک (Prebiotic) در روند تولید می‌تواند ارزش این محصول را از نظر سلامت‌بخش بودن افزایش دهد (۲). اگرچه امروزه، به دلیل افزایش آگاهی مردم از زیان‌های مصرف نوشابه‌های گازدار، تمایل به مصرف نوشابه‌های طبیعی از جمله دوغ رو به افزایش است، ولی با وجود رعایت استانداردهای بهداشتی، ویژگی‌های حسی و ظاهری این محصول چندان مورد توجه قرار نگرفته است. یکی از عمده‌ترین مشکلات، دو

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

فاز شدن آن طی نگهداری است که این مسئله از گرانروی پایین، pH پایین و تأثیر آنها بر رسوب کردن پروتئین‌ها ناشی می‌شود (۴، ۲، ۱).

تاکنون، پژوهش‌های مختلفی در زمینه استفاده از پکتین به منظور پایدارسازی نوشیدنی‌های اسیدی شیر و بررسی سازوکار موثر در پایدارسازی انجام گرفته است (۷-۵). هم‌چنین، بسیاری از محققان برای پایدارسازی نوشیدنی‌های اسیدی دیگر از هیدروکلوئیدها استفاده کرده‌اند (۹، ۸، ۴). اخیرا هم در تحقیقی علاوه بر بررسی تأثیر عوامل مکانیکی (هم‌زدن و همگن‌سازی) بر میزان دو فاز شدن دوغ، اثر صمغ‌های کتیرا، ثعلب و گوار در پایدارسازی آن مطالعه شده است (۱).

پکتین پلی‌ساکاریدی متشکل از واحدهای D-گالاکتورونیک اسید است که این واحدها با پیوندهای (۴-۱)α به یکدیگر متصل هستند. این صمغ از هیدروکلوئیدهای جاذب به شمار می‌رود و به دلیل نیروی الکترواستاتیک و از طریق سازوکار ممانعت فضایی، موجب پایداری سامانه می‌شود (۵). صمغ لوبیای خرنوب نیز از ترکیبات گالاکتومانان است و از آنجا که این صمغ در دسته صمغ‌های غیرجاذب قرار دارد، با افزایش گرانروی فاز پیوسته مانع دو فاز شدن می‌شود (۱۰). کتیرا صمغ خشک شدهٔ به دست آمده از ساقه نوعی گون از جنس *آستراگالوس* (*Astragalus*) است و مرغوب‌ترین نوع آن در ایران تولید می‌شود (۱۲، ۱۱). این صمغ از لحاظ شیمیایی از دو بخش محلول و نامحلول در آب تشکیل شده که به ترتیب تراگاکانتین و باسورین (تراگاکانتیک اسید) نامیده می‌شوند. صمغ کتیرا توسط سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) به عنوان یک ماده غذایی سالم (GRAS) طبقه‌بندی شده (۱۲) و به‌عنوان پایدارکننده، امولسیون‌کننده و قوام‌دهنده در صنایع غذایی، داروسازی و آرایشی- بهداشتی کاربرد دارد (۱۳، ۱۱). اینولین هیدروکلوئیدی است که اغلب از ریشه‌های کاسنی و کنگر استخراج می‌شود. این ترکیب، پلیمری است که از اتصالات (۱-۲)β باقی‌مانده‌های فروکتوز تشکیل شده و معمولا یک باقی‌مانده گلوکز با اتصال (۲-۱)α در انتهای زنجیر قرار دارد (۱۴). هم‌چنین، به عنوان یک افزودنی پربیوتیک مطرح است که کاربرد گسترده‌ای در فراورده‌های شیری دارد (۱۵).

در پژوهش حاضر، تأثیر پکتین با درجه متوکسیل بالا (به‌عنوان هیدروکلوئید جاذب)، صمغ لوبیای خرنوب (به‌عنوان هیدروکلوئید غیرجاذب)، کتیرا (به‌عنوان صمغ بومی) و تراگاکانتین (بخش محلول کتیرا) به‌صورت تکی و ترکیب‌های دوتایی کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب، کتیرا: پکتین و پکتین: صمغ لوبیای خرنوب بر پایداری دوغ بررسی شد. به علاوه، از اینولین به عنوان یک ترکیب پربیوتیک در فرمولاسیون ماست (جهت تهیه دوغ) استفاده شد و تأثیر آن بر پایداری دوغ بررسی شد. هم‌چنین، به منظور بهبود وضعیت ظاهری دوغ پربیوتیک از صمغ کتیرا و صمغ لوبیای خرنوب جهت پایدارسازی استفاده شد. در ضمن، به منظور بررسی سازوکار احتمالی کتیرا، ویژگی‌های رئولوژیکی، میزان پتانسیل زتا، مشاهدات ریزساختاری نمونه‌های پایدار شده توسط هیدروکلوئیدهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفتند و در نهایت نمونه‌های پایدار شده، قبل و پس از افزودن اسانس‌های طبیعی (آبی) از لحاظ ویژگی‌های حسی توسط اعضای گروه چشایی ارزیابی شدند.

• مواد و روش‌ها

مواد: هیدروکلوئیدهای مورد استفاده در این پژوهش نظیر پکتین با درجه متوکسیل بالا (Pectin 150 USA-Genu®SAG type D slow set)، صمغ لوبیای خرنوب (Genu®Gum type RL-200) از شرکت CP Kelco کشور دانمارک و اینولین بلند زنجیر (frutafit® TEX!, DP≥ 23) از شرکت Sensus کشور هلند تهیه شدند. کتیرای نواری از فروشگاه‌های عطاری سنتی تهران خریداری شد و پس از آسیاب کردن و عبور دادن از الک آزمایشگاهی شماره ۶۰ پودر حاصل برای انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. در ضمن، سایر مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت مواد شیمیایی مرک (Merck Chemical Co. Darmstadt, Germany) خریداری شدند. به‌علاوه، اُکارای مرطوب (ضایعات مربوط به فرایند تولید شیر سویا) از شرکت *سویاسان* واقع در شهرک صنعتی هشتگرد تهیه شد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

جداسازی جزء محلول و نامحلول کتیرا: به منظور جداسازی قسمت‌های محلول (تراگاکانتین) و نامحلول (باسورین) کتیرا، یک گرم از پودر آن با یک میلی‌لیتر اتانل آغشته شده و ۲۰۰ml آب مقطر به آن افزوده شد. سپس به منظور جذب آب، درون ظرف دربسته‌ای به مدت ۱۲ ساعت توسط همزن مغناطیسی (Heidolph مدل MR3001 R ساخت کشور آلمان) در دور ۴۰۰۰ بار در دقیقه هم زده شد. سپس تعلیق به دست آمده به مدت ۳ ساعت در ۱۷۰۰g سانتریفوژ شد (Eppendorf مدل 5810R ساخت کشور آلمان). به این ترتیب، بخش محلول و نامحلول از یکدیگر جدا شدند (۱۲). برای تعیین مقادیر کمّی هر یک از بخش‌ها، دو بخش جدا شده، به ظرف شیشه‌ای (که قبلا در آون به وزن ثابت رسیده بود) منتقل و توسط آون (دمای ۴۰°C) طی مدت ۱۲ ساعت خشک شدند. با در نظر گرفتن اختلاف وزن ظرف شیشه‌ای بعد از خشک شدن و ظرف خالی، مقدار کمّی هر یک از قسمت‌ها تعیین شد. تمامی آزمایش‌ها حداقل سه بار تکرار شدند.

روش تهیه دوغ حاوی صمغ‌ها به صورت تکی: صمغ‌های پکتین، صمغ لوبیای خرنوب و کتیرای کامل در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد، ولی بخش محلول کتیرا (تراگاکانتین) در غلظت‌های ۰/۰۵، ۰/۰۷۵، ۰/۱ و ۰/۱۲۵ درصد مورد استفاده قرار گرفتند. هم‌چنین، پلی‌ساکاریدهای محلول نوع M (SSPS-M) پس از استخراج (۱۶)، در غلظت‌های ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷ درصد استفاده شدند. پس از حل کردن تدریجی هر یک از صمغ‌ها در آب، افزودن نمک طوری انجام گرفت که غلظت نمک در محصول نهایی ۰/۷ درصد باشد. سپس مخلوط (پایدارکننده ــ نمک) حین همزدن در دمای ۸۰°C به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب‌گرم (Memmert ساخت کشور آلمان) تحت تیمار حرارتی قرار گرفت.

در مرحله بعد، مقدار مشخصی ماست (۲/۵ درصد چربی، pH=۳/۸±۰/۰۵ و اسیدیته ۱۴۰–۱۳۲ درجه دورنیک) هم‌زده شده و به تدریج و حین هم‌زدن به مخلوط اضافه شد. مقدار ماست طوری محاسبه شد که ماده خشک کل (ماده خشک با احتساب چربی) دوغ حاصل ۵/۹±۰/۱ درصد باشد. پس از هم‌زدن توسط همزن برقی (SANYO ساخت کشور ژاپن) به مدت ۱۰ ثانیه، نمونه‌ها در دمای ۶۰°C توسط همگن‌ساز (APV ساخت کشور دانمارک) تحت فشار ۱۵۰ بار به صورت یک مرحله‌ای همگن شدند. سپس، نمونه‌ها به پاستوریزاتور ناپیوسته (Funke Gerber ساخت کشور آلمان) منتقل و حین همزدن در دمای ۸۳°C به مدت ۱ دقیقه تحت تیمار حرارتی قرار گرفتند. آن‌گاه، دمای آنها تا ۱۰°C کاهش داده شد (۱۷، ۴، ۱). در پایان، نمونه‌ها به بطری‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل و در دمای ۵°C نگهداری شدند. هر یک از آزمایش‌ها ۳ بار انجام شد.

روش تهیه دوغ حاوی ترکیب دوتایی صمغ‌ها: به منظور بررسی اثر ترکیبی صمغ‌ها، دو غلظت ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد از ترکیب‌های دوتایی (پکتین: کتیرا)، پکتین: صمغ لوبیای خرنوب و کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب، با نسبت‌های ۵۰: ۵۰، ۸۰: ۲۰ و ۲۰: ۸۰ به کار رفت. در این مرحله، ابتدا صمغ‌ها با نسبت‌های مشخص، توزین و سپس با هم مخلوط شده و به تدریج به آب افزوده شدند (۱). پس از تهیه محلول پایدارکننده، همانند روش ذکر شده در بالا، به ترتیب، مراحل افزودن نمک، افزودن ماست، همزدن، همگن‌سازی، پاستوریزه کردن و بسته‌بندی نمونه‌ها انجام گرفت. هر یک از آزمایش‌ها ۳ بار تکرار شد.

پایدارسازی دوغ پربیوتیک: جهت تهیه ماست پربیوتیک، اینولین در غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۲ و ۳ درصد در فرمولاسیون ماست مورد استفاده قرار گرفت. اینولین در دمای ۴۰±۲ °C به شیر (۲/۵ درصد چربی) اضافه شد. سپس توسط همزن برقی (SANYO ساخت کشور ژاپن) به مدت ۱۰ ثانیه هم‌زده شد. آن‌گاه، نمونه‌ها در دمای ۶۰°C توسط همگن‌ساز (APV ساخت کشور دانمارک) تحت فشار ۱۵۰ بار همگن شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها به پاستوریزاتور ناپیوسته (Funke Gerber ساخت کشور آلمان) منتقل و حین همزدن در دمای ۸۵°C به مدت ۳۰ دقیقه پاستوریزه شدند. پس از افزودن ۲ درصد مایه کشت (شرکت Danisco، سری ۵۰۰، ساخت کشور دانمارک) در دمای ۴۳°C مخلوط شیر– مایه کشت در دمای ۴۳°C تا رسیدن به pH=۳/۹±۰/۰۵ در گرمخانه

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

(Memmert ساخت کشور آلمان) قرار گرفت. سپس نمونه‌ها از گرمخانه خارج و در یخچال (دمای ۵°C) نگهداری شدند (۱۸).

برای بررسی تأثیر حضور اینولین در ماست روی پایدارسازی، پس از تهیه محلول آب– نمک، مقدار مشخصی ماست پرِبیوتیک به آن افزوده شد (طوری محاسبه شد که محتوای کازئین تمام نمونه‌ها یکی باشد). نمونه‌ها توسط همزن برقی به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شدند. سپس همگن‌سازی، پاستوریزه کردن، بسته‌بندی و نگهداری در دمای ۵°C مانند مراحل قبل انجام شد. در مرحله بعد، به منظور پایدارسازی نمونه‌های دوغ تهیه شده از ماست پرِبیوتیک، کتیرای کامل در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد و صمغ لوبیای خرنوب در غلظت‌های ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳ درصد مورد استفاده قرار گرفتند. پس از حل کردن هر یک از صمغ‌ها در آب، افزودن نمک، پاستوریزه کردن مخلوط (پایدارکننده - نمک)، نگهداری به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۵°C افزودن تدریجی ماست حاوی اینولین، همزدن، همگن‌سازی، پاستوریزه کردن، بسته‌بندی و نگهداری در دمای ۵°C همانند مراحلی که پیش‌تر اشاره شد، انجام گرفت (۱۷، ۴، ۱).

اندازه‌گیری میزان دو فاز شدن دوغ: برای بررسی میزان دو فاز شدن، نمونه‌های دوغ، داخل بطری‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری در دمای ۵°C به مدت ۳۰ روز نگهداری شدند. برای محاسبه میزان دو فاز شدن نمونه‌ها میزان فاز سرمی (فاز بالایی) توسط خط‌کش، اندازه‌گیری و بر مقدار دوغ محتوی بطری تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد (۱۷، ۴، ۱).

اندازه‌گیری میزان آب انداختن ماست: به منظور بررسی تأثیر اینولین بر میزان آب انداختن ماست، نمونه‌ها (۳۵ گرم) در دمای ۴°C به‌مدت ۱۰ دقیقه در g ۲۰۰ سانتریفوژ (Kubota مدل ۶۹۰۰ ساخت کشور ژاپن) شدند. برای محاسبه درصد دو فاز شدن ماست‌ها، میزان فاز سرمی حاصل بر مقدار ماست تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شد (۱۸).

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های رئولوژیکی: اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی دوغ‌ها یک روز بعد از آماده‌سازی در دمای ۱۰±۰/۲°C با استفاده از دستگاه رئومتر Physica Anton Paar (مدل MCR 300، ساخت کشور اتریش) مجهز به ژئومتری استوانه‌های هم‌مرکز (concentric cylinder geometry) (مدل CC27) انجام شد و برای جلوگیری از تبخیر نمونه‌ها از درپوش استفاده شد. برای اندازه‌گیری تنش برشی و گرانروی به صورت تابعی از سرعت برشی و تعیین نوع رفتار جریانی نمونه‌ها در یک فاصله زمانی ۱۰ دقیقه، سرعت برشی از ۰/۱ s^{-1} تا ۶۰۰ افزایش و طی ۱۰ دقیقه بعدی از ۶۰۰s^{-1} به ۰/۱ کاهش یافت. طی این روند، تنش برشی هر ۶ ثانیه اندازه‌گیری شد. از آنجا که سرعت برشی اِعمال شده در حفره دهانی حدود ۵۰ s^{-1} است (۲۰، ۱۹)؛ گرانروی ظاهری به دست آمده از منحنی بالارونده در سرعت برشی ۵۳/۴ s^{-1} به عنوان گرانروی ظاهری نمونه‌ها گزارش شد. به‌علاوه، میزان برازش داده‌های به دست آمده از آزمون‌های عملی با مدل‌های ریاضی نظیر نیوتنی (Newtonian)، قانون توان (Power law)، بینگهام (Bingham)، هرشل– بالکلی (Herschel-Bulkley) و کاسون (Casson) مورد بررسی قرار گرفت. سپس، مناسب‌ترین مدل ریاضی انتخاب و سرانجام، شاخص‌های رئولوژیکی برای هر یک از نمونه‌ها گزارش شد.

اندازه‌گیری پتانسیل زتا: برای تعیین پتانسیل زتای نمونه‌های دوغ از دستگاه زتاسایزر (Nano– ZS ساخت شرکت Malvern کشور انگلستان) استفاده شد. برای این منظور، هر یک از نمونه‌ها نخست با استفاده از آب مقطر ۵۰ برابر رقیق شدند. سپس، نمونه‌ها توسط سرنگی داخل لوله موئین (سل) منتقل و لوله موئین در محل مخصوص در داخل دستگاه قرار گرفت. اندازه‌گیری پتانسیل زتا در دمای ۲۵°C و توان ۱۴۹ وات انجام شد (۷).

بررسی‌های میکروسکپی: به منظور بررسی ریزساختار (microstructure) نمونه‌های دوغ و تهیه عکس‌های میکروسکپی از میکروسکپ نوری Nikon (مدل E1000) مجهز به دوربین دیجیتالی Nikon (مدل DXM 1200) ساخت کشور ژاپن استفاده شد. برای رقیق کردن

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

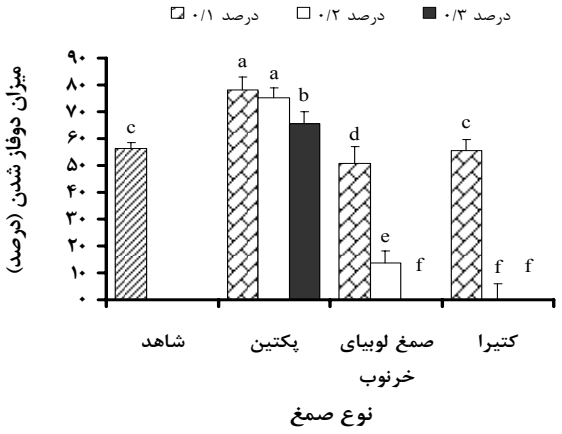
نمونه‌ها، ۰/۱۵ml از نمونه با ۲۰ml آب دیونیزه مخلوط و هم‌زده شد. سپس، ۲ml محلول Rhodamine B ۰/۰۱ درصد (به‌منظور نشان‌دار کردن میسل‌های کازئین) به نمونه‌ها اضافه شد. در نهایت، پس از انتقال یک قطره از نمونه روی لام و قرار دادن لامل روی نمونه، از بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ (۱۰۰×) برای مشاهده ریزساختار نمونه‌ها استفاده شد.

ارزیابی حسی: برخی ویژگی‌های حسی نمونه‌ها (شامل طعم و مزه، قوام، رنگ، بو و پذیرش کلی) در چهارچوب آزمون اختلاف چند نمونه‌ای (multisample difference test) چهار طبقه (۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب معادل غیر قابل قبول، نسبتا رضایت‌بخش، خوب و عالی) توسط ۲۰ ارزیاب آموزش دیده ارزیابی شد. از آنجا که استفاده از اسانس‌های طبیعی (استخراج آبی) در فرمولاسیون نمونه‌های تجاری، رواج زیادی دارند، به منظور بهبود طعم نمونه‌ها و مشابه‌سازی آنها با انواع تجاری از مخلوط اسانس‌های طبیعی نعناع (۲۰ ppm) و نعناع فلفلی (۲ ppm) (ساخت شرکت *تک عصاره مشهد*) استفاده شد. نمونه‌ها یک روز بعد از آماده‌سازی در دمای ۵ °C در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل آماری: برای ارزیابی آماری داده‌ها از نرم افزار $SPSS_{14}$ استفاده شد و برای بررسی اختلاف موجود بین مقادیر میانگین‌ها از روش مقایسه چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. هم‌چنین، اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش‌های رئولوژیکی با استفاده از نرم افزارهای Excel و Sigmaplot 2000 جهت تعیین مدل ریاضی مناسب، مورد پردازش قرار گرفته و در این راستا از رگرسیون‌های خطی و غیرخطی استفاده شد.

• یافته‌ها

با توجه به مقبولیت بیشتر دوغ‌های ترش، برای تهیه نمونه‌های دوغ از ماست ترش (اسیدیته: ۱۳۲–۱۴۰ درجه دورنیک) استفاده شد. بنابراین، pH نمونه‌های دوغ در محدوده ۳/۷۷–۳/۶۴ و اسیدیته آنها ۲±۶۹ درجه دورنیک بود. هم‌چنین، مطابق یافته‌های بررسی حاضر، میزان رطوبت و خاکستر کتیرای مورد استفاده به ترتیب ۰/۲۷± ۱۰/۴۲ و۰/۰۳± ۳/۰۱ درصد بود. به علاوه، پس از جداسازی بخش محلول از نامحلول این صمغ توسط سانتریفوژ و خشک کردن، سهم بخش محلول و نامحلول در آب به ترتیب ۳۷/۹ و ۶۲/۱ درصد برآورد شد. مقایسه این نتایج با بررسی‌های گذشته (۱۳) نشان داد که احتمالا کتیرای مورد استفاده، کتیرای ایرانی گونه *آستراگالوس گوسیپینوس (A. gossypinus)* بوده است.



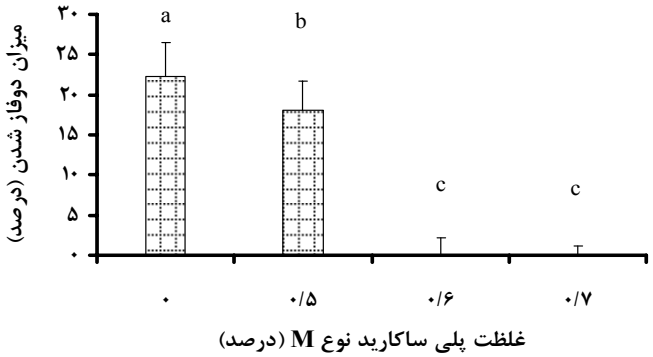
شکل ۱- نمایش میزان دو فاز شدن دوغ‌ها در حضور غلظت‌های مختلف پکتین، صمغ لوبیای خرنوب و کتیرا پس از ۳۰ روز نگهداری
حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد است ($p<$۰/۰۱).

تأثیر پکتین، صمغ لوبیای خرنوب و کتیرا بر پایداری دوغ به صورت تکی: تأثیر پکتین با درجه متوکسیل بالا، صمغ لوبیای خرنوب و کتیرای کامل در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد (به‌صورت تکی) بر پایدارسازی دوغ در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار ($p<$۰/۰۱) میان نمونه‌ها و نمونه شاهد است. اصولا پکتین در پایدارسازی نمونه‌ها تأثیر مثبتی نداشت؛ در حالی‌که صمغ لوبیای خرنوب در غلظت ۰/۳ درصد سبب پایداری دوغ شد و این نقش در رابطه با کتیرا در غلظت‌های بالای ۰/۱ درصد یعنی در ۰/۲ درصد اتفاق افتاد. در ضمن، پلی‌ساکاریدهای محلول سویا نوع M توانستند فقط به مدت ۶ روز نمونه‌ها را پایدار سازند (شکل ۲).

همان‌گونه که اشاره شد، کتیرا از دو بخش محلول و نامحلول در آب تشکیل شده است. بنابراین، جهت بررسی دقیق‌تر سازوکار پایدارسازی کتیرا تأثیر تراگاکانتین

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

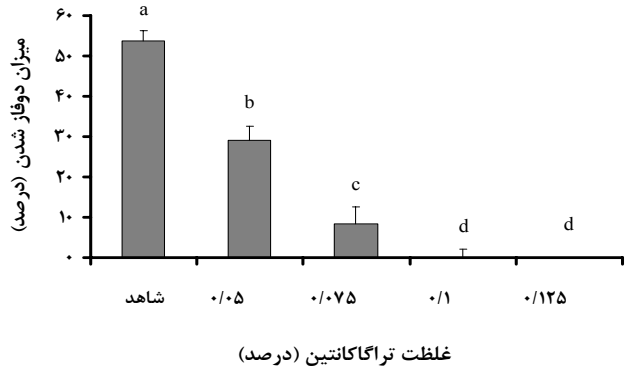
(بخش محلول در آب) در غلظت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۲- نمایش تأثیر غلظت‌های مختلف پلی‌ساکاریدهای محلول سویا نوع M متوکسیل‌زدایی شده بر میزان دو فاز شدن دوغ‌ها (pH=۳/۷±۰/۰۴) پس از ۶ روز نگهداری در دمای ۵ °C

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد است(p<۰/۰۱).

شکل ۳ نتایج آزمایش‌های مربوط به بررسی تأثیر تراگاکانتین (بخش محلول کتیرا) بر میزان پایداری دوغ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که بین نمونه‌ها با یکدیگر و نمونه شاهد، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (p< ۰/۰۱). همان طور که مشاهده می‌شود، استفاده از تراگاکانتین در سطح ۰/۰۷۵ درصد، میزان دو فاز شدن را به طور چشم‌گیری کاهش داد، در سطح ۰/۱۰۰ و ۰/۱۲۵ درصد پایداری کامل، ایجاد و اختلاف معنی‌داری بین این دو نمونه مشاهده نشد.



شکل ۳- نمایش میزان دو فاز شدن دوغ‌ها پس از ۳۰ روز نگهداری در حضور غلظت‌های مختلفی از تراگاکانتین

حروف مختلف، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد است (p< ۰/۰۱).

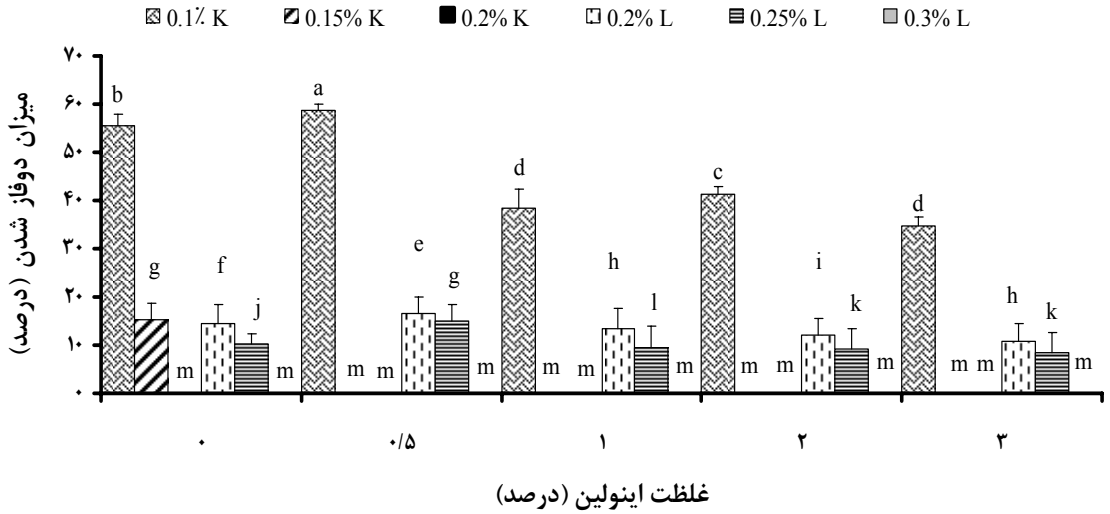
تأثیر حضور هم‌زمان دو نوع صمغ در جلوگیری از دو فاز شدن دوغ: مطابق نتایج به دست آمده، اثر هم‌افزایی خوبی بین صمغ لوبیای خرنوب و کتیرا وجود داشت. به‌طوری‌که غلظت ۰/۲ درصد و نسبت‌های ۵۰: ۵۰ و ۸۰: ۲۰ ترکیب کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب قادر به ایجاد پایداری کامل بودند. به علاوه، در ترکیب‌های دوتایی کتیرا: پکتین ۸۰: ۲۰ (۰/۱۵ و ۰/۲ درصد)، کتیرا: پکتین ۵۰: ۵۰ (۰/۲ درصد) و پکتین: صمغ لوبیای خرنوب ۲۰: ۸۰ (۰/۱۵ و ۰/۲ درصد) با وجود پایداری ظاهری و شفاف نبودن فاز سرمی به دلیل تشکیل رسوب، بافت نامطلوبی در آنها مشاهده شد. به نظر می‌رسد، این پدیده زمانی رخ می‌دهد که میزان کتیرا یا صمغ لوبیای خرنوب، بیشتر یا مساوی پکتین باشد. از این رو، احتمالا حضور کتیرا و صمغ لوبیای خرنوب، دلیل پایدار به نظر رسیدن این نمونه‌ها بود؛ در حالی‌که پکتین‌های جذب نشده موجب تشکیل رسوب شده‌اند. بنابراین، استفاده از پکتین به صورت تکی یا ترکیبی در پایدارسازی دوغ‌های دارای pH کمتر از ۴ توصیه نمی‌شود.

تأثیر حضور اینولین و صمغ‌های دیگر در جلوگیری از دو فاز شدن دوغ پربیوتیک: قبل از ارائه نتایج مربوط به تأثیر اینولین در پایداری دوغ، به بررسی تأثیر این ترکیب در میزان آب انداختن ماست می‌پردازیم. در این ارتباط، نتایج حاصل از بررسی میزان آب انداختن ماست‌های دارای درصدهای مختلف اینولین نشان داد که هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین نمونه دارای ۰/۵ درصد اینولین و نمونه شاهد وجود ندارد (p< ۰/۰۱). در حالی‌که غلظت‌های ۱ و ۲ درصد اینولین میزان آب انداختن ماست را حدود ۵۰ درصد کاهش دادند، هم‌چنین، اختلاف معنی‌داری بین این دو غلظت مشاهده نشد. به‌علاوه، غلظت ۳ درصد اینولین، آب انداختن ماست را به طور چشم‌گیری کاهش داد. از آنجایی که استفاده از اینولین به تنهایی تأثیر مثبتی در پایدارسازی دوغ نداشت، از صمغ لوبیای خرنوب و کتیرا برای پایدارسازی دوغ پربیوتیک استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده (شکل ۴) صمغ کتیرا در غلظت ۰/۱۵ و صمغ لوبیای خرنوب در غلظت ۰/۳ درصد توانستند به طور کامل، مانع دو فاز شدن دوغ شوند.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

تأثیر افزودن هیدروکلوئیدها روی برخی ویژگی‌های رئولوژیکی دوغ: با توجه به میزان برازش داده‌های رئولوژیکی، از میان ۵ مدل ریاضی ارزیابی شده جهت پیش‌بینی ویژگی‌های رئولوژیک نمونه‌های دوغ، مناسب‌ترین مدل برای نمونه‌های شاهد و نمونه حاوی پلی‌ساکاریدهای محلول سویا نوع M مدل نیوتنی و برای سایر نمونه‌ها مدل قانون توان شناخته شد.

میزان گرانروی / گرانروی ظاهری نمونه‌های دوغ در سرعت برشی $53/4\ s^{-1}$ و دمای $10\ ^{\circ}C$ در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، استفاده از هیدروکلوئیدها بجز پلی‌ساکاریدهای محلول سویا نوع M موجب افزایش گرانروی و ضریب قوام و کاهش شاخص توان نمونه‌های دوغ شده است.



شکل ۴- نمایش میزان دو فاز شدن نمونه‌های دوغ (pH=۳/۷۲±۰/۰۲) در حضور غلظت‌های مختلف اینولین (۰/۵ تا ۳ درصد) و غلظت‌های مختلف هیدروکلوئیدها طی ۳۰ روز نگهداری در دمای $5\ ^{\circ}C$.

میزان دو فاز شدن نمونه شاهد (فاقد اینولین و هر نوع هیدروکلوئید) ۵۶/۲ درصد بود. (K= کتیرا، L= صمغ لوبیای خرنوب). حروف مختلف، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد است ($p< ۰/۰۱$).

جدول ۱- نمایش تأثیر نوع و غلظت صمغ‌ها روی برخی متغیرهای رئولوژیکی نمونه‌های دوغ پایدار شده

شماره نمونه	فرمولاسیون دوغ (نوع و غلظت صمغ)	گرانروی/ گرانروی ظاهری (η / η_{app})** (mPa.s)	ضریب قوام (k) ($mPa.s^n$)	شاخص توان (n)
۱	شاهد	۶/۱۷	—	—
۲	پلی‌ساکارید محلول سویا نوع M (۰/۶ درصد)	۸/۶۸	—	—
۳	کتیرا (۰/۲ درصد)	۵۸/۱	۰/۱۹۱۸	۰/۶۹۵۷
۴	تراگاکانتین (۰/۱ درصد)	۹۲/۷	۰/۴۴۹۹	۰/۵۹۷۹
۵	صمغ لوبیای خرنوب (۰/۳ درصد)	۷۴/۴	۰/۳۹۷۸	۰/۵۸۲۲
۶	*کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب به نسبت۵۰: ۵۰	۲۱/۳	۰/۰۴۰۷	۰/۸۳۹۶
۷	*کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب به نسبت۲۰: ۸۰	۴۱/۹	۰/۱۴۴۰	۰/۶۹۸۱
۸	اینولین (۱ درصد) + کتیرا (۰/۱۵ درصد)	۵۱/۵	۰/۱۲۱۱	۰/۷۹۱۴

* غلظت ۰/۲ درصد

** گرانروی ظاهری نمونه‌ها در سرعت برشی $53/4\ s^{-1}$ و دمای $10\ ^{o}C$ گزارش شده است.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

هم‌چنین، بررسی تغییرات گرانروی به صورت تابعی از سرعت برشی نشان داد که گرانروی نمونه‌های ۱ و ۲ در سرعت‌های برشی مختلف تقریبا یکسان بوده است این ویژگی از خصوصیات سیال‌های نیوتنی به‌شمار می‌رود. در حالی‌که گرانروی ظاهری سایر نمونه‌های پایدار شده، با افزایش سرعت برشی کاهش یافت که نشانه رفتار نرم‌شونده برشی در این نمونه‌ها است (۲۰، ۱۹).

تأثیر انواع هیدروکلوئیدها روی میزان پتانسیل زتا: مقادیر پتانسیل زتای نمونه‌های دوغ پایدار شده توسط هیدروکلوئیدهای مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نمونه شاهد (فاقد هیدروکلوئید) دارای پتانسیل زتای مثبت بوده است. هم‌چنین، مشاهده شد که برخلاف نمونه شاهد و نمونه حاوی صمغ لوبیای خرنوب، سایر نمونه‌ها پتانسیل زتای منفی داشتند.

جدول ۲- تأثیر هیدروکلوئیدهای مختلف روی مقادیر پتانسیل زتای نمونه‌های دوغ

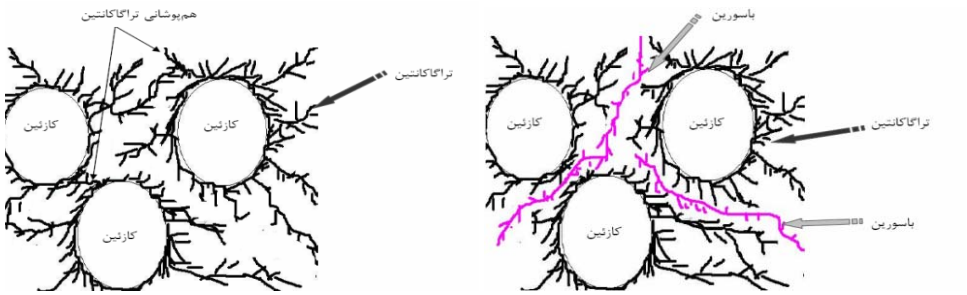
فرمولاسیون دوغ (نوع و غلظت صمغ)	پتانسیل زتا (میلی‌ولت)
شاهد	۱۱/۴
پلی‌ساکارید محلول سویا نوع M (۰/۶ درصد)	-۸/۲
کتیرا (۰/۲ درصد)	-۲۳/۸
تراگاکانتین (۰/۱ درصد)	-۲۱/۲
صمغ لوبیای خرنوب (۰/۳ درصد)	۱۰/۷
کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب به نسبت ۵۰: ۵۰ (۰/۲ درصد)	-۱۵/۶
کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب به نسبت ۲۰: ۸۰ (۰/۲ درصد)	-۱۸/۶

تأثیر انواع هیدروکلوئیدها روی ریزساختار: طبق نتایج به دست آمده از ریزساختار نمونه‌ها (تصاویر نشان داده نشدند) در نمونه شاهد، کازئین‌ها توده شده و تجمع یافته بودند که همین امر موجب دو فاز شدن سامانه شده است. در ضمن، در نمونه دارای صمغ لوبیای خرنوب، حضور شبکه در فاز پیوسته موجب محصور شدن کازئین‌ها در شبکه شد و حضور چنین شبکه‌ای در سامانه، از نزدیک شدن ذرات کازئین به یکدیگر جلوگیری کرده است. از طرف دیگر، تصویر به دست آمده از نمونه دارای تراگاکانتین نشان‌دهنده استقرار ذرات کازئین به صورت همگن در فاز پیوسته است. احتمالا تراگاکانتین به عنوان یک هیدروکلوئید آنیونی جذب سطح کازئین‌ها شده و در نتیجه، دافعه فضایی و الکترواستاتیک از نزدیک شدن ذرات به یکدیگر جلوگیری کرده است. برای نمونهٔ دارای کتیرا، محصور شدن کازئین‌ها در شبکه و حاکم بودن دافعه فضایی در این نمونه در کنار یکدیگر مطرح است.

با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی‌های رئولوژیکی، اندازه‌گیری پتانسیل زتا و مشاهدات ریزساختاری مدلی برای نمایش سازوکار پایدارسازی توسط تراگاکانتین و کتیرا ارائه می‌شود (شکل ۵) که می‌توان به کمک آن سازوکار پایدارسازی نمونه‌های دوغ توسط این دو ترکیب را به خوبی نمایش داد و توجیه کرد.

تأثیر انواع هیدروکلوئیدها روی برخی ویژگی‌های حسی دوغ: نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های دوغ نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها و نمونه شاهد برای صفات طعم و مزه، قوام، بو و پذیرش کلی بود ($p<۰/۰۱$). طبق نتایج، بیشترین میزان مطلوبیت در نمونه‌های حاوی کتیرا، صمغ لوبیای خرنوب و ترکیب دوتایی این دو صمغ (۵۰: ۵۰) دیده شد. از طرفی، کمترین میزان مطلوبیت به نمونه حاوی پلی‌ساکاریدهای محلول سویا و نمونه دارای اینولینِ پایدارشده با کتیرا تعلق داشت و میان این نمونه‌ها با نمونه شاهد، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($p<۰/۰۱$). بررسی قوام نمونه‌ها نیز حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار میان نمونه‌ها و نمونه شاهد بود ($p<۰/۰۱$). لازم به ذکر است که ۷ نفر از ارزیاب‌ها به بالا بودن قوام نمونه‌های دارای هیدروکلوئید و نامطلوب بودن این ویژگی برای دوغ اشاره کردند. با این همه، میانگین امتیازات کسب شده برای صفت قوام، نشان‌دهنده مطلوبیت دوغ‌های دارای هیدروکلوئید است. در مورد ویژگی رنگ، هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها با یکدیگر و نمونه شاهد (با و بدون اسانس) وجود نداشت. بنابراین، استفاده از هیدروکلوئیدها تأثیری بر رنگ نمونه‌ها نداشت. ارزیابی‌های انجام شده در مورد ویژگی بو، قبل از افزودن اسانس، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار میان نمونهٔ دارای اینولین با نمونه شاهد و سایر نمونه‌ها بود. در حالی‌که هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین- سایر نمونه‌ها با یکدیگر و نمونه شاهد مشاهده نشد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]



الف) ب)

شکل ۵- شبیه‌سازی سازوکار پایدارسازی دوغ توسط الف) تراگاکانتین و ب) کتیرا.

تراگاکانتین جذب سطح کازئین‌ها شده و هم‌پوشانی شاخه‌های جانبی آن موجب افزایش گرانروی می‌شود؛ در حالی‌که حضور باسورین در کتیرا از هم‌پوشانی شاخه‌های جانبی تراگاکانتین ممانعت می‌کند و این بخش از کتیرا با افزایش گرانروی و ایجاد شبکه به پایداری کمک می‌کند.

نتایج به‌دست آمده از پذیرش کلی نمونه‌ها پس از افزودن اسانس نیز نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌های حاوی پلی‌ساکاریدهای محلول سویا و حاوی اینولین با نمونه شاهد بود. البته، سایر نمونه‌ها نیز فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، نمونه شاهد و نمونه تجاری بودند. هم‌چنین، در نمونه دارای اینولین، قبل و بعد از افزودن اسانس، تفاوت معنی‌دار مشاهده شد.

• بحث

اصولاً استفاده از پکتین به عنوان هیدروکلوئید مناسب برای ایجاد پایداری در نوشیدنی‌های اسیدی شیر توسط بسیاری از محققان توصیه شده است (۷-۵). در بررسی حاضر، افزودن پکتین تا غلظت ۰/۳ درصد باعث شد که طی ۳۰ روز نگهداری، میزان دو فاز شدن نمونه‌های حاوی این صمغ حتی نسبت به نمونه شاهد نیز بیشتر باشد. این تناقض را می‌توان به پایین بودن pH نمونه‌های دوغ (۳/۷۷–۳/۶۴) در پژوهش حاضر نسبت داد. تحقیقات نشان داده‌اند زمانی که pH نوشیدنی اسیدی شیر به pK_a پکتین (۳/۵) نزدیک شود، احتمالا تمایل پکتین برای جذب شدن در سطح ذرات کازئین کاهش می‌یابد. دلیل کاهش تمایل پکتین به جذب سطحی را به کاهش بار مولکول‌های پکتین در این pH نسبت داده‌اند (۲۱). بنابراین، احتمالا پکتین‌های جذب نشده از طریق سازوکار تهی‌سازی تجمعی (depletion flocculation) موجب ناپایداری سامانه می‌شوند (۲۲).

هم‌چنین، صمغ لوبیای خرنوب در غلظت ۰/۳ درصد موجب پایداری کامل نمونه‌ها شد. از آن جا که این صمغ از صمغ‌های غیرجاذب است، به نظر می‌رسد که علت پایداری ایجاد شده مربوط به تشکیل شبکه، افزایش گرانروی فاز پیوسته و به دام افتادن میسل‌های کازئین باشد (۱۰). فروغی‌نیا و همکاران نیز گزارش کردند که صمغ گوار در سطح ۰/۳ درصد، میزان دو فاز شدن را به‌طور چشم‌گیری کاهش داد و در سطح ۰/۵ درصد موجب پایداری کامل شد (۱). در مورد نمونه‌های حاوی کتیرا نیز مشاهده شد که استفاده از این صمغ در غلظت ۰/۱ درصد تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت ($p<0/01$). در حالی‌که در غلظت ۰/۲ درصد قادر به پایدارسازی دوغ‌ها بود. مقایسه نتایج حاصل از بررسی حاضر با تحقیق گذشته که به پایدارسازی دوغ‌های با pH ≥ ۴ توسط ۰/۳ درصد کتیرا اشاره داشت (۱) به نظر می‌رسد که کاهش مقدار کتیرای مورد نیاز جهت ایجاد پایداری در بررسی حاضر در مقایسه با بررسی قبل (۱) به کمتر بودن pH، افزایش میزان بار مثبت کازئین‌ها و جذب شدن بیشتر این صمغ مربوط باشد. در ضمن، پلی‌ساکاریدهای نوع M متوکسیل‌زدایی شده، توانستند در غلظت‌های ۰/۶ و ۰/۷ درصد نمونه‌ها را به‌مدت ۶ روز پایدار سازند. به نظر می‌رسد که انجام عملیات متوکسیل‌زدایی، قبل از استخراج پلی‌ساکاریدها ضروری باشد. زیرا در اثر متوکسیل‌زدایی، گروه‌های کربوکسیل آزاد با بار منفی ایجاد می‌شوند که حضور آنها موجب

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

اتصال بهتر اورونیک اسید به کازئین‌های دارای بار مثبت می‌شود (۲۳).

به نظر می‌رسد که سازوکار پایدارسازی توسط کتیرا را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که با توجه به ساختار تراگاکانتین احتمالا به واسطه نیروی الکترواستاتیک، واکنشی بین گروه‌های کربوکسیل گالاکتورونیک اسید موجود در شاخه اصلی تراگاکانتین با کازئین‌های دارای بار مثبت رخ می‌دهد و در نتیجه، شاخه‌های جانبی متصل به شاخه اصلی با تشکیل لایه‌ای در اطراف ذرات از نزدیک شدن ذرات به یکدیگر ممانعت می‌کنند. از آن‌جا که تراگاکانتین حدود ۳۸٪ از ترکیب کتیرا را تشکیل می‌دهد و با توجه به سازوکار مطرح شده برای تراگاکانتین به نظر می‌رسد که بخش عمده پایدارسازی بر عهده بخش محلول کتیرا باشد. از طرف دیگر، با توجه به ساختار خطی و وزن مولکولی بالای باسورین (۱۳، ۱۲)، ممکن است این بخش هم با افزایش گرانروی و به تله انداختن ذرات، در ایجاد پایداری نقش داشته باشد.

در رابطه با تأثیر اینولین در فرمولاسیون ماست و دوغ پرِبیوتیک، گرچه در تحقیقی گزارش شده است که استفاده از ۱/۳ درصد اینولین مانع از آب انداختن ماست می‌شود (۲۴) ولی باید یادآور شد که مسلما، نوع مایه کشت، دمای گرمخانه و pH ماست نیز بر مقدار آب انداختن تأثیر فراوانی داشته (۱۵) و بنابراین، پیش‌بینی می‌شود که اگر از کشت آغازگر، دما و زمان گرمخانه‌گذاری مناسب‌تری استفاده شود، نتایج بهتری نیز حاصل خواهد شد.

در ارتباط با رفتار جریانی و ویژگی‌های رئولوژیکی دوغ باید یادآور شد که سایر محققان نیز دوغ (حاوی حدود ۶ درصد ماده خشک با چربی) را به عنوان سیالی نیوتنی مطرح کرده‌اند (۱). البته ذکر این نکته هم ضروری است که عوامل متعددی مانند درصد ماده خشک، چربی، نمک، همگن کردن و حضور یا عدم حضور پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی (exopolysaccharides) روی رفتار جریانی و ویژگی‌های رئولوژیکی دوغ تأثیر دارند. به علاوه، قانون توان توسط پژوهش‌گران دیگری نیز به عنوان مدل ریاضی مناسب برای پیش‌گویی رفتار جریانی فراورده‌هایی مشابه دوغ و نوشیدنی‌های تخمیری شیر پایدار شده توسط هیدروکلوئیدها معرفی شده است (۹، ۴). بنابراین، مشخص می‌شود که حضور هیدروکلوئیدها در فرمولاسیون دوغ موجب تغییر نوع رفتار جریانی این محصول از نیوتنی به غیرنیوتنی شده است.

در پژوهش‌های گذشته نیز به افزایش گرانروی انواع نوشیدنی‌های اسیدی شیر (از جمله دوغ، آیران) در اثر افزودن انواع هیدروکلوئیدها اشاره شده است (۹، ۴، ۱) در این بررسی مشاهده شد که بیشترین گرانروی ظاهری به‌ترتیب در نمونه‌های حاوی تراگاکانتین (۰/۱ درصد)، صمغ لوبیای خرنوب (۰/۳ درصد)، کتیرا (۰/۲ درصد)، نمونه تهیه شده از ماست دارای ۱ درصد اینولین + کتیرا (۰/۱۵ درصد)، ترکیب کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب به نسبت ۵۰: ۵۰ (۰/۲ درصد) و ترکیب کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب به نسبت ۲۰: ۸۰ (۰/۲ درصد) دیده شد که همگی آنها بجز نمونه‌های حاوی کتیرا و تراگاکانتین موجه هستند. به این ترتیب می‌توان دلیل این تغییرات را به تغییرات آرایشی مولکول کتیرا و مشتقات آن در حضور نمک و سایر عوامل موجود در دوغ نسبت داد.

همان‌گونه که مشاهده شد، شاخص رفتار جریان (شاخص قانون توان) برای نمونه‌های دوغ کمتر از ۱ بود که این نکته، تأییدکننده وجود رفتار نرم‌شونده برشی (shear thinning) است. باید توجه داشت که در این حالت، هر چه n به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشانه تمایل سیال به سیال‌های نیوتنی و هرچه به صفر نزدیک‌تر شود، نشانه سیال‌های غیرنیوتنی است (۲۰، ۱۹). در بسیاری از تحقیقات، این نوع رفتار غیرنیوتنی (رفتار نرم‌شونده برشی) برای توصیف نوع رفتار جریانی نوشیدنی‌های اسیدی شیر، دوغ کرۀ تخمیر شده و آیران گزارش شده است (۹، ۴).

در بررسی‌های پیشین گزارش شده است که بار خالص کازئین در اثر اسیدی کردن از منفی به مثبت تغییر می‌یابد (۲۱، ۷). هم‌چنین، طبق نتایج مشخص شد که نمونه حاوی ۰/۳ درصد صمغ لوبیای خرنوب نیز پتانسیل زتای مثبت داشته و مقدار کمّی آن بسیار مشابه نمونه شاهد بود. این مسئله دلیلی بر غیرجاذب بودن این صمغ است (۱۰). در حالی که در سایر نمونه‌ها، پتانسیل زتای منفی از وجود هیدروکلوئید جاذب در این نمونه‌ها

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

ناشی می‌شود. همان‌گونه که مشخص است، عامل مشترک در این نمونه‌ها تراگاکانتین است که حدود ۲۳/۷ درصد از ساختار آن را اورونیک اسید تشکیل می‌دهد. به نظر می‌رسد که گروه‌های کربوکسیل اورونیک اسیدهای شاخه تراگاکانتین به واسطه نیروهای الکترواستاتیک به کازئین‌های دارای بار مثبت متصل می‌شوند و به این ترتیب، پتانسیل زتا را کاهش می‌دهند. از آنجا که تراگاکانتین به‌عنوان هیدروکلوئید جاذب مطرح است، احتمالاً این ترکیب پس از جذب سطحی، به واسطه شاخه‌های جانبی فراوان موجود در ساختار از طریق سازوکار ممانعت فضایی از نزدیک شدن ذرات به یکدیگر جلوگیری می‌کند.

با توجه به مطالب گفته شده و نظر به اینکه معمولا قدر مطلق پتانسیل زتا در فراورده‌های شیر زیر ۲۵ میلی‌ولت است (۲۵). می‌توان گفت که با توجه به تغییرات محسوس میزان پتانسیل زتا در نمونه‌ها، دافعه الکترواستاتیک (electrostatic repulsion) نقش اساسی و انکارناپذیری در پایدارسازی دارد. به نظر می‌رسد که در پایدارسازی نمونه‌های دوغ توسط کتیرا و تراگاکانتین، نیروهای دافعه فضایی و دافعه الکترواستاتیک نقش مهمی داشته‌اند. اگر چه در کتیرا، باسورین نیز از طریق افزایش گرانروی و تشکیل شبکه در پایدارسازی دخیل است.

به نظر می‌رسد که کتیرا و صمغ لوبیای خرنوب به صورت تکی و ترکیبی، تأثیر مثبتی بر طعم دوغ دارند. گزارش شده است که استفاده از صمغ لوبیای خرنوب علاوه بر پایدارسازی آیران، در مقایسه با نمونه شاهد، طعم مطلوب‌تری ایجاد می‌کند (۴). فروغی‌نیا و همکاران در سال ۱۳۸۶ گزارش کردند که نمونه‌های دارای کتیرا به‌صورت تکی و ترکیبی با گوار به نسبت ۸۰: ۲۰ بیشترین مطلوبیت را از نظر ارزیاب‌ها داشته‌اند.

احتمالاً بالا بودن غلظت پلی‌ساکاریدهای محلول سویا در نمونه دوغ موجب محسوس بودن طعم خارجی آن شده است. در ضمن، به نظر می‌رسد که پلی‌ساکاریدهای محلول سویا پس از استخراج به خالص‌سازی و بوگیری نیاز داشته باشند (۲۳). به علاوه، در گزارش‌های موجود، طعم نامطلوبی برای ماست دارای اینولین گزارش نشده است (۲۶). احتمالاً طعم نامطلوب آن به‌علت رقیق بودن دوغ محسوس‌تر بوده یا اینکه اینولین در حضور کتیرا موجب ایجاد طعم نامطلوب و پوشش طعم دوغ شده است. در ضمن، افزودن اسانس موجب افزایش رضایت‌مندی ارزیاب‌ها و احتمالا تاحدودی سبب پوشش طعم نامطلوب نمونه‌ها شد. از طرف دیگر، شاید بتوان دوغ پایدارشده را به عنوان نوعی نوشیدنی با گرانروی بالا معرفی کرد. محققان بیان کرده‌اند که با ایجاد تغییراتی در فرمولاسیون نوشیدنیِ اسیدیِ سنتی می‌توان فراورده‌های جدیدی مطابق با ذائقه نسل جوان تولید کرد (۲).

نتایج حاصل از بررسی تأثیر هیدروکلوئیدهای مختلف بر پایداری دوغ نشان‌داد که کتیرا، تراگاکانتین و صمغ لوبیای خرنوب به ترتیب در غلظت‌های ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۳ درصد قادر به پایدارسازی دوغ (pH=۳/۶۴ –۳/۷۷) به مدت ۳۰ روز بودند. ترکیب کتیرا: صمغ لوبیای خرنوب با نسبت‌های ۵۰: ۵۰ و ۸۰: ۲۰ در غلظت ۰/۲ درصد نیز توانایی پایدارسازی دوغ را داشت. در حالی‌که استفاده از پکتین به صورت تکی و ترکیبی به دلیل وقوع پدیده تهی‌سازی تجمعی، ناپایداری سامانه را به دنبال داشت. همچنین، مطالعه ویژگی‌های رئولوژیکی، حسی، بررسی‌های میکروسکپی و اندازه‌گیری پتانسیل زتا نشان‌دهنده این واقعیت بود که کتیرا در زمره هیدروکلوئیدهای آنیونی است و بخش محلول آن، جذب سطح کازئین‌ها می‌شود و از طریق ممانعت فضایی و الکترواستاتیک از نزدیک شدن ذرات جلوگیری می‌کند؛ از طرف دیگر، بخش نامحلول آن با افزایش گرانروی فاز پیوسته، ایجاد شبکه و در برگرفتن ذرات، موجب پایداری می‌شود. بنابراین، این صمغ در دسته صمغ‌های جاذب با قابلیت تشکیل ژل قرار می‌گیرد. اگرچه استفاده از هیدروکلوئیدها موجب افزایش گرانروی نمونه‌ها شد ولی مطلوبیت نهایی نمونه‌ها تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت. به این ترتیب، دوغ‌های با گرانروی بالا نیز می‌توانند به‌عنوان نوشیدنی مطلوبی مطرح باشند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت و کارشناسان محترم شرکت شیر پاستوریزه پگاه تهران برای همکاری‌ها و در اختیار قرار دادن امکانات جهت انجام بخشی از پژوهش حاضر قدردانی به عمل می‌آید.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]

• References

1. Foroughinia S, Abbasi S, Hamidi Esfahani Z. Effect of individual and combined addition of salep, tragacanth and guar gums on the stabilization of Iranian Doogh. Iranian J Nutr Sci and Food Tech 2007; 2 (2): 15–25. [In Persian]
2. Nilsson LE, Lyckand S, Tamime AY. Production of drinking products. In: Tamime, A Y, editor. Fermented Milks. UK: Blackwell Science Ltd, 2007; 95–127.
3. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Doogh: Code of practice and production. ISIRI No 10528. 1st ed, Karaj: ISIRI; 2008. [In Persian]
4. Koksoy A, Kilic M. Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, Ayran. Food Hydrocoll 2004; 18: 593–600.
5. Tromp R., de Kruif H., Van Eijk C G, Rolin C. On the mechanism of stabilization of acidified milk drinks by pectin. Food Hydrocoll 2004; 18: 565–572.
6. Laurent M.A, Boulenguer P. Stabilization mechanism of acid dairy drinks (ADD) induced by pectin. Food Hydrocoll 2003; 17: 445–454.
7. Tholstrup Sejersen M., Salomonsen T, Ipsen R. Zeta potential of pectin-stabilized casein aggregates in acidified milk drinks. Intl Dairy J 2007; 17: 302–307.
8. Gallardo-Escamilla FJ, Kelly A L, Delahunty CM. Mouthfeel and flavour of fermented whey with added hydrocolloids. Intl Dairy J 2007; 17: 308–315.
9. Janhoj T, Bom Frost M, Ipsen R. Sensory and rheological characterization of acidified milk drinks. Food Hydrocoll 2008; 22: 798–806.
10. Syrbe A, Bauer WJ, Klostermeyer H. Polymer science concepts in dairy system: An overview of milk protein and food hydrocolloid interaction. Intl Dairy J 1998; 8: 179–193.
11. Abbasi S, Rahimi S. Influence of concentration, temperature, pH and rotational speed on the flow behaviour of Iranian gum tragacanth (Katira) solution. Iranian J Food Sci Tech 2006; 2(4): 29–42. [In Persian]
12. Weiping W, Branwell A. Tragacanth and Karaya. In: Phillips GO, Williams PA, editors. Handbook of Hydrocolloids. Cambridge: Woodhead publishing Ltd; 2000. p 231–246.
13. Mohammadifar MA, Musavi SM, Kiumarsi A, Williams P. Solution properties of targacanthin (water-soluble part of gum tragacanth exudate from Astragalus gossypinus). Intl J Biomacromolecules 2006; 38: 31–39.
14. Abbasi S, Farzanmehr H. Optimization of extracting conditions of Inulin from Iranian artichoke with/without ultrasound using response surface methodology. J Sci Tech Agri Natural Resources 2009, in press.[In Persian]
15. Rabinson RK, Tamime AY. Types of fermented milks. In: Tamime A Y, editors. Fermented Milks. UK: Blackwell Science Ltd, 2007. p 1–10.
16. Azarikia F, Abbasi S. Opimization of the extraction of soybean soluble polysaccharides from okara. Iranian J Nutr Sci and Food Tech 2008; 3 (1): 45–56. [In Persian]
17. Azarikia F. Investigation of the efficiency and mechanisms of some hydrocolloids on the stabilization of Doogh [Dissertation] . Tehran: Tarbiat Modares University, Faculty of Agriculture; 2008. [In Persian]
18. Everett DW, McLeod RE. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. Intl Dairy J 2002; 15: 1175–1183.
19. Bourne MC. Food texture and viscosity: concept and measurement. 2nd ed. Translated by Abbasi, S. Tehran: Marz-e Danesh Publications. 2008 . [In Persian]
20. Barnes HA. Handbook of elementary rheology. 1st ed. Translated by Abbasi, S. Tehran: Marz-e Danesh Publications. 2008. [In Persian]
21. Tuinier R, Rolin C, de Kruif CG. Electrosorption of pectin onto casein micelles. Biomacromolecules 2002; 3: 632–638.
22. Maroziene A, de Kruif CG. Interaction of pectin and casein micelles. Food Hydrocoll 2000; 14: 391–394.
23. Maeda H. Soluble soybean polysaccharides. In: Phillips GO, Williams PA editors. Handbook of Hydrocolloids. Cambridge: Woodhead publishing Ltd; 2000. p 309–319.
24. Dello Staffolo M, Bertola N, Martino M, Bevilacqua YA. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yoghurt. Intl Dairy J 2004; 14: 263–268.
25. Walstra, P. Colloidal interactions. In: Walstra P editor. Physical Chemistry of Foods. New York: Marcel Dekker Inc; 2003. p 437–476.
26. Kip P, Meyer D, Jellema RH. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. Intl Dairy J 2006; 16: 1098–1103.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-08-02]