بررسی تأثیر جایگزین‌های چربی صمغ زدو و بادام بر رفتار جریانی و ویژگی‌های حسی دسر لبنی وانیلی کم‌چرب

حسین جوینده[a*]، حدیث رستم‌آبادی[b]، مصطفی گودرزی[c]

[a] *دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران*
[b] *فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران*
[c] *دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تهران، کرج، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۸

چکیده

مقدمه: به دلیل تمایل مصرف‌کنندگان به مصرف غذاهای سالم‌تر، استفاده از جایگزین‌های چربی برای توسعه فرمولاسیون‌های غذایی کم‌چرب روز به روز در حال افزایش است. هدف از انجام پژوهش پیش‌رو، بررسی امکان استفاده از صمغ‌های بومی زدو و بادام به عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون دسرهای لبنی کم‌چرب می‌باشد.

مواد و روش‌ها: تأثیر سطوح مختلف صمغ زدو و بادام (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی/وزنی) بر رفتار جریانی و ویژگی‌های حسی دسر لبنی وانیلی کم‌چرب در مقایسه با نمونه شاهد کم‌چرب و پرچرب مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: رفتار جریانی نمونه‌ها با همبستگی بالایی به مدل اوستوالد دویل برازیده شد ($R^2>0/99$). همگی نمونه‌ها از یک رفتار جریانی رقیق‌شونده با برش پیروی کردند؛ با این حال، کاهش چربی، منجر به کاهش چشمگیر ویسکوزیته ظاهری، شاخص قوام و افزایش اندیس جریان شد ($p<0.05$). حضور صمغ زدو یا بادام در فرمولاسیون دسرهای لبنی کم‌چرب، باعث نزدیک شدن اندیس جریان به صفر و تقویت رفتار رقیق‌شوندگی با برش گردید. دسرهای کم‌چرب حاوی ۰/۲ ٪ صمغ زدو و یا ۰/۳ ٪ صمغ بادام، از نقطه‌نظر پارامترهای رئولوژیک مورد بررسی، تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد پرچرب نشان ندادند ($p\geq0.05$). نمونه کم‌چرب حاوی ۰/۳ ٪ صمغ زدو، علی‌رغم رفتار رقیق‌شوندگی با برش قوی‌تر نسبت به نمونه شاهد پرچرب، به گونه قابل ملاحظه‌ای کمتر مورد پسند مصرف‌کنندگان واقع شد ($p<0.05$).

نتیجه‌گیری: با استفاده از سطوح ۰/۲ ٪ صمغ زدو یا ۰/۳ ٪ صمغ بادام، می‌توان دسر لبنی کم‌چربی با ویژگی‌های رئولوژیک و حسی قابل قبول تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: *دسر لبنی کم‌چرب، رفتار جریانی، صمغ زدو، صمغ بادام، ویژگی‌های حسی*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: hosjooy@ramin.ac.ir

مقدمه

دسرهای لبنی از محبوبیت گسترده‌ای میان گروه‌های سنی مختلف برخوردار می‌باشند (Tárrega & Costell, 2006b). دسرهای لبنی نیمه‌جامد[1] گروهی از دسرهای لبنی می‌باشند که ترکیبات اصلی تشکیل‌دهنده آنها شامل شیر، قوام‌دهنده (نشاسته یا هیدروکلوئید)، ساکاروز، طعم‌دهنده و رنگ‌دهنده می‌باشد (Tárrega & Costell, 2006b). امروزه، طیف گسترده‌ای از دسرهای لبنی نیمه‌جامد با فرمولاسیون، بافت، طعم، ظاهر و شرایط فرآوری گوناگون به بازار عرضه می‌شود با این حال، ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی این گروه از محصولات به شدت تحت تأثیر ویژگی ترکیبات اولیه همچون میزان چربی شیر، نوع نشاسته، نوع و غلظت هیدروکلوئید مصرفی و برهم‌کنش این اجزا با یکدیگر می‌باشد (Toker *et al*., 2013). بر این اساس، تولید و توسعه فرمولاسیون‌های بدون‌چربی یا کم‌چرب دسرهای لبنی برای آن دسته از مصرف‌کنندگانی که غذاهای کم‌چرب را بیشتر می‌پسندند با چالش‌هایی همراه خواهد بود. به مانند دیگر محصولات لبنی کم‌چرب، دسرهای نیمه‌جامد کم‌چرب فاقد عطر و طعم مطلوب نسبت به همتایان پرچرب خود بوده و از نواقص بافتی مختلفی نیز رنج می‌برند (Bayarri *et al*., 2010). بر خلاف محصولات لبنی کم‌چربی همچون پنیر که معمولاً در غیبت یا حضور کم‌رنگ چربی دارای بافتی سخت و لاستیکی می‌شوند (Rahimi *et al*., 2007)، دسرهای لبنی کم‌چرب، فاقد ساختار ژله‌ای مورد انتظار از دسرهای پرچرب می‌باشند و در مقایسه با آنها، بافتی به مراتب نرم‌تر دارند (Tárrega & Costell, 2006a, b) که البته معمولاً به مذاق مصرف‌کنندگان نیز خوش نمی‌آید. Costell و Tárrega (۲۰۰۶a, b) با استناد به یافته‌های رئومتری نشان دادند که در غیاب چربی، مدول افت (G'') دسرهای لبنی نیمه‌جامد بر مدول ذخیره (G') آنها چربش پیدا می‌کند و بدین‌ترتیب رفتار این محصولات از رفتار رئولوژیک مورد انتظار یک ژل فاصله گرفته و به رفتار مایعات تمایل پیدا می‌کند؛ به عبارت دیگر، دسرهای تولیدشده از شیر پس‌چرخ، بیش از آنکه یک جامد ویسکوالاستیک باشند یک مایع ویسکوالاستیک هستند (González-Tomás & Costell, 2006). به مانند دیگر محصولات غذایی کم‌چرب، یکی از معمول‌ترین رهیافت‌ها برای غلبه بر چالش‌های بافتی دسرهای کم‌چرب، استفاده از جایگزین‌های چربی می‌باشد که در میان آنها، بیشترین گزارش‌ها، در مورد اینولین با طول زنجیر مختلف مشاهده شده است (Tárrega & Costell, 2006b; Bayarri *et al*., 2010; Arcia *et al*., 2010; Tárrega *et al*., 2011; Arcia *et al*., 2011; Bayarri *et al*., 2011). گفته می‌شود که میکروکریستال‌های اینولین با پیوند با یکدیگر، آگرگیت[2]هایی تشکیل می‌دهند که با حفظ آب درون خود، به شکل‌گیری ساختارهای ژل مانند و به دنبال آن نزدیک‌شدن رفتار رئولوژیکی دسرهای کم‌چرب به انواع پرچرب کمک می‌کنند (Tárrega *et al*., 2011). گزارش‌های معدودی نیز در ارتباط با استفاده از صمغ‌ها به عنوان جایگزین چربی در دسرهای لبنی کم‌چرب گزارش شده است (Tárrega & Costell, 2006a; González-Tomás *et al*., 2008; Bayarri *et al*., 2010; Toker *et al*., 2013). Costell و Tárrega (۲۰۰۶a) دریافتند که با بکارگیری غلظت بهینه‌ای از صمغ لامبدا کاراگینان، می‌توان دسر لبنی کم‌چربی با ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی مشابه با نمونه پرچرب تولید نمود. اعتقاد بر این است که گروه‌های سولفات منفی صمغ یادشده از طریق برهم‌کنش‌های الکتروستاتیک با فراکسیون‌های بار مثبت کازئین‌های شیر مورد استفاده برای تولید دسر، در ایجاد ساختارهای ژلی جدید و یا استحکام ساختارهای ژلی پیشین شرکت می‌جویند (Tárrega & Costell, 2006a). علی‌رغم یافته‌های امیدوارکننده‌ای که تا کنون در ارتباط با بهبود ویژگی‌های رئولوژیک و حسی دسرهای کم‌چرب از طریق تلفیق جایگزین‌های چربی به فرمولاسیون آنها صورت پذیرفته است، پژوهش در این زمینه همچنان ادامه دارد چرا که، نیاز به جایگزین‌های چربی به‌دست آمده از منابع ارزان قیمت، در دسترس و بومی هنوز مرتفع نشده است.

صمغ فارسی یا همان زدو، صمغ ترشحی شفافی است که از درخت بادام کوهی با نام *آمیگدالوس اسکوپاریا* اسپچ[3]، از خانواده گلسرخیان[4] به‌دست می‌آید و اخیراً به واسطه ویژگی‌های قوام‌دهندگی، امولسیفایری و پایدارکنندگی

[1] Semi-Solid Dairy Dessert
[2] Aggregate
[3] *Amygdaluhs scoparia* Spach
[4] *Rosaceace*

امولسیون مورد توجه پژوهشگران صنعت غذا قرار گرفته است (Abbasi & Mohammadi, 2013). Ghasempour و همکاران (۲۰۱۲) عنوان داشتند که صمغ زدو از طریق واکنش با پروتئین‌های شیر، باعث استحکام ژل ماست کم‌چرب شده و به دنبال آن، افزایش قابلیت نگهداری آب و در نتیجه کاهش سینرزیس ماست طی دوره نگهداری را به ارمغان می‌آورد. نقش پایدارکنندگی صمغ زدو که به برهم‌کنش آن با پروتئین‌های شیر نسبت داده می‌شود، در ارتباط با دوغ نیز گزارش شده است (نبی‌زاده و همکارن، ۱۳۹۲). Khalesi و همکاران (۲۰۱۵) بر اساس یافته‌های آزمون‌های کشش سطحی، اسپکتروفتومتری متیلن‌بلو و پتانسیل‌سنجی زتا، امکان برهم‌کنش بین پروتئین‌های شیر و صمغ زدو را تأئید کردند. آلموند گام[1] یا صمغ بادام، صمغ نوین دیگری است که از تنه و شاخه‌های درخت *پرونوس دولسیس*[2]، به‌دست می‌آید. این صمغ به طور عمده از ۹۲/۳۶ درصد پلی‌ساکارید (۴۶/۸۳ درصد آرابینوز، ۳۵/۴۹ درصد گالاکتوز، ۵/۹۷ درصد اورونیک اسید بر اساس وزن خشک)، ۲/۴۵ درصد پروتئین و ۰/۸۵ درصد چربی تشکیل شده است (Mahfoudhi *et al*., 2014). همچنین، بی‌بو و بی‌مزه بوده و به راحتی در آب حل می‌شود (Mahfoudhi *et al*., 2012). Mahfoudhi و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که صمغ بادام از خواص امولسیون‌کنندگی قابل قیاسی با صمغ عربی، به عنوان یکی از کارامدترین و پراستفاده‌ترین صمغ‌ها در این زمینه برخوردار می‌باشد و آن را ناشی از توان پروتئین‌ها و اجزای آرابینوگالاکتان صمغ بادام در فعالیت‌های بین‌سطحی در امولسیون دانستند. صمغ‌های یادشده، از صمغ‌های بومی ایران می‌باشند و به دلیل ارزان و دردسترس بودن و همچنین برخورداری از ویژگی‌های عملکردی قابل توجه که ذکر آنها رفت، از پتانسیل بالایی برای استفاده به عنوان جایگزین چربی در محصولات غذایی و به ویژه لبنیات برخوردار می‌باشند. تا کنون پژوهشی در ارتباط با بکارگیری این صمغ‌ها به عنوان جایگزین چربی در دسرهای لبنی کم‌چرب صورت نپذیرفته است. از این رو، پژوهش پیش‌رو بر آن است تا تلفیق سطوح مختلف صمغ‌های زدو و بادام به فرمولاسیون دسرهای لبنی نیمه‌جامد کم‌چرب، بررسی تأثیر حضور آنها بر رفتار جریانی، ویژگی‌های حسی محصول موردنظر و امکان استفاده از این صمغ‌ها به عنوان جایگزین چربی در این محصولات را مورد سنجش قرار دهد.

مواد و روش‌ها

- تهیه نمونه‌های دسر لبنی نیمه‌جامد وانیلی

نمونه‌های دسر لبنی با پیروی از دستورالعمل Bayarri و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از پودر شیرخشک بدون چربی (شرکت OLDENBURGER، کشور آلمان)، خامه ۳۰ درصد چربی، ساکارز، وانیل (کارخانه لبنی پگاه خوزستان) و کربوکسی متیل سلولز (شرکت Sinochem-Fhaghani، کشور چین) تولید گردیدند. صمغ زدو از منطقه خوزستان (شهر دزفول) و صمغ بادام نیز از مناطق کوهستانی شیراز تهیه گردید. فراکسیون‌های سفیدرنگ صمغ‌ها انتخاب و به وسیله اتانول ۹۶ درصد شسته شده و درون آون (مدل Heraeus، مدل UT ۵۰۴۲، آلمان) با دمای ۵۰ درجه سلسیوس خشک شدند. هر دو صمغ با آسیاب برقی (ناسیونال، ایران) پودر شده و جهت به‌دست‌آوردن ذرات با اندازه‌ی یکنواخت، از الک با مش ۳۵ و قطر ۰/۵ میلی‌متر عبور داده شدند. پودر شیرخشک با آب مقطر به وسیله همزن مغناطیسی (مدل RH basic2، شرکت IKA، آلمان) با دور ۲۵۰ rpm در دمای ۸۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه به خوبی هم زده شد و جهت اطمینان از هیدراته‌شدن کامل پروتئین‌های شیر به مدت یک شبانه روز در دمای ۱± ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید. جهت تولید نمونه‌های دسر لبنی کم‌چرب، پودر شیر خشک بدون چربی با استفاده از خامه ۳۰ درصد چربی تا رسیدن به محتوای چربی ۰/۱۴ درصد استاندارد گردید. سپس، مقادیر مناسب وانیل، CMC (۱/۵ ٪ وزنی/وزنی)، صمغ‌های زدو (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی/وزنی) و بادام (۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی/وزنی) و ساکارز (۱۱ ٪ وزنی/وزنی) در ۶۵ درجه سلسیوس با آن اضافه گشت. سپس، مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با همگن‌ساز آزمایشگاهی اولتراتورکس (IKA T25 Digital, Hamburg) با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه، در همین دما همگن گردید. در پایان، بسته‌های محتوی دسر دربندی شده و به مدت ۲۴ ساعت پیش از

[1] Almond Gum
[2] *Prunus dulcis*

آزمون در دمای ۱± ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. نمونه‌های شاهد کم چرب (۰/۱۴ ٪ چربی) و پرچرب (۳/۵ ٪ چربی) نیز به همین روش، ولی بدون افزودن صمغ تولید گردیدند. لازم به ذکر است که مبنای انتخاب سطوح مختلف صمغ زدو و بادام در فرمولاسیون دسرهای لبنی مورد بررسی در این پژوهش، یافته‌های حاصل از پیش‌آزمون‌های محدودی بود که در این زمینه انجام شد. پژوهش‌های مشابه صورت گرفته در رابطه با کاربرد این صمغ‌ها در دیگر محصولات غذایی نیز در این زمینه الهام‌بخش بودند (نبی‌زاده و همکارن، ۱۳۹۲؛ Ghasempour *et al*., 2012).

- آزمون رفتار جریانی

به منظور بررسی رفتار جریانی دسرهای لبنی، نمونه‌ها با استفاده از گرانروی‌سنج برنامه‌پذیر بروکفیلد، مدل RVDV-II+ (Brookfield Engineering Laboratories. Inc. USA) و اسپیندل SC4-27، از آهنگ ۱ تا ۱۰۰ بر ثانیه تحت برش قرار گرفته و تنش‌های برشی مربوطه طی ۶۰ ثانیه در فواصل زمانی مختلف ثبت شدند. به پیروی از پژوهش‌های پیشین صورت گرفته در زمینه بررسی رفتار جریانی دسرهای لبنی (Tárrega *et al*., 2011; Bayarri *et al*., 2011; Torres *et al*., 2010)، نمایه‌های قوام و جریان با برازیدن داده‌های تجربی بر مدل اوستوالد دویل[1] یا همان مدل قانون توان[2] (معادله ۱) به دست آمدند:

$$\sigma = K\dot{\gamma}^{n} \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، σ بیانگر تنش برشی (pa)، K اندیس قوام ($pa.s^n$)، $\dot{\gamma}$ نرخ برشی (s^{-1}) و n اندیس جریان می‌باشد. همچنین، ویسکوزیته ظاهری در نرخ برشی $10\ s^{-1}$ (معادله ۲) نیز به عنوان شاخص قوام درک شده در دهان[3] یا همان ویسکوزیته حسی[4] محاسبه گردید (González-Tomás *et al*., 2008):

$$K\dot{\gamma}^{n-1}=_{10}\mu \quad \text{معادله (۲)}$$

- ارزیابی حسی

در این قسمت مهم‌ترین خصوصیات حسی دسرهای لبنی شامل: رنگ وظاهر، طعم و آروما، قوام و بافت و پذیرش کلی توسط ۱۰ ارزیاب نیمه حرفه‌ای آموزش دیده مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌ها از طریق تست هدونیک ۹ نقطه‌ای با یکدیگر مقایسه شدند که شرح آن‌ها در ذیل ارائه گردیده است:

۱) فوق العاده ناخوشایند، ۲) بسیار ناخوشایند، ۳) نسبتاً ناخوشایند، ۴) تا حدودی ناخوشایند، ۵) نه خوشایند نه ناخوشایند ۶) تا حدودی خوشایند، ۷) نسبتاً خوشایند، ۸) بسیار خوشایند، ۹) فوق العاده خوشایند (Goudarzi *et al*., 2015). ۵ دقیقه پیش از ارزیابی، نمونه‌ها از یخچال خارج و در دمای محیط (۲۲±۲ ºC) نگهداری شدند.

- تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح دو فاکتوره بلوک‌های کاملاً تصادفی، به کمک نرم افزار SPSS (SPSS Inc.، شیکاگو، ویرایش ۱۶) و با استفاده از دو فاکتور اصلی غلظت صمغ زدو و بادام (هر فاکتور دارای سه سطح ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد وزنی/وزنی) انجام پذیرفت. جهت بررسی معنی‌داری اختلاف بین تیمارها، میانگین داده‌ها با one-way-analysis، آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند و رسم منحنی‌ها با استفاده از Microsoft Excel 2013 انجام گردید.

یافته‌ها

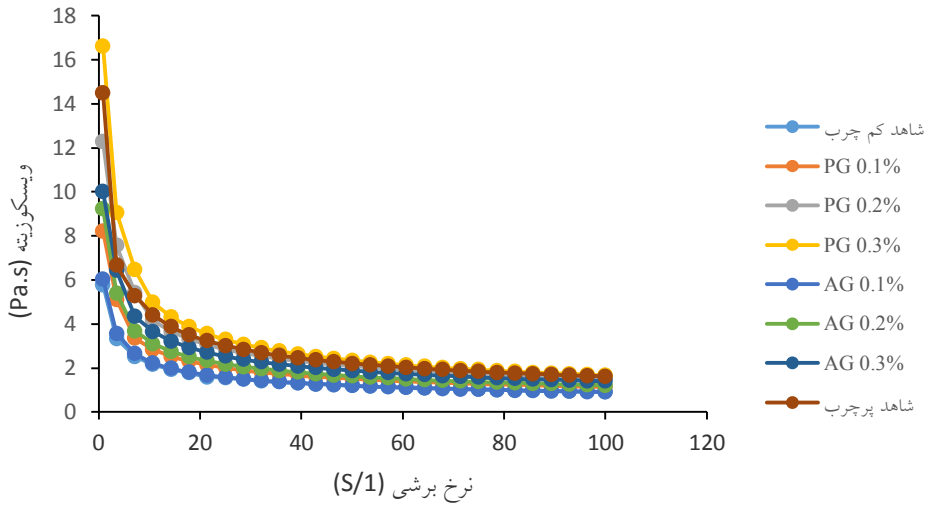
- رفتار جریانی

رئوگرام حاصل از بررسی رفتار جریانی نمونه‌های مختلف دسر لبنی در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است. برای توضیح رفتار جریانی نمونه‌های مختلف دسر لبنی از مدل اوستوالد دویل استفاده شد. ضریب بالای همبستگی بین داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی‌شده (۰/۹۹۹–R^2 = ۰/۹۹۶) نشانگر مناسب‌بودن مدل یادشده برای توصیف رفتار جریانی نمونه‌های دسر می‌باشد. پارامترهای بدست‌آمده از مدل برازیده‌شده به داده‌های تجربی در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد. بر اساس یافته‌ها، روند تغییرات ویسکوزیته ظاهری در برابر آهنگ برشی یک روند کاهشی بود (شکل ۱) که بیانگر رفتار رقیق‌شونده با برش[5] نمونه‌های مختلف دسر می‌باشد. شاخص جریان کمتر از ۱

[1] Ostwald de Waele Model [2] Power-Law Model [3] Oral Thickness [4] Sensory Viscosity [5] Shear-thining

نمونه‌ها (۰/۵۱–۰/۶۲) نیز موید همین امر است (جدول ۱). در این ارتباط، بیشترین شاخص جریان متعلق به نمونه شاهد کم‌چرب و کمترین آن متعلق به نمونه شاهد پرچرب بود (جدول ۱). تلفیق صمغ زدو یا صمغ بادام به فرمولاسیون نمونه شاهد کم‌چرب، منجر به کاهش اندیس جریان آنها و نزدیک شدن آن به نمونه شاهد پرچرب شد که البته از این نظر، صمغ زدو نسبت به صمغ بادام از تأثیرگذاری بالاتری برخوردار بود (جدول ۱).

بر اساس این یافته‌ها، دسرهای حاوی صمغ بادام حتی در بالاترین غلظت مورد استفاده نیز، از اندیس جریان بالاتری نسبت به نمونه شاهد پرچرب برخوردار بودند ($p<0.05$) این در حالی بود که نمونه کم‌چرب حاوی ۰/۲٪ صمغ زدو از این نظر اختلاف معنی‌داری با نمونه شاهد پرچرب نداشت ($p<0.05$) و نمونه حاوی ۰/۳٪ از این صمغ، از اندیس جریان به مراتب پایین‌تری نسبت به نمونه شاهد پرچرب برخوردار بود ($p<0.05$) (جدول ۱). هر چه اندیس جریان کمتر از ۱ و نزدیک‌تر به صفر باشد، نشان‌دهنده رفتار رقیق‌شوندگی با برش قوی‌تر نمونه مورد بررسی می‌باشد. از این منظر، کاهش چربی باعث نزدیک‌شدن رفتار دسر لبنی به رفتار سیالات نیوتونی شده و در سوی مقابل، تلفیق صمغ‌های مورد بررسی به فرمولاسیون این محصولات، باعث تقویت رفتار سودوپلاستیسیته آنها که رفتار معمول ژل‌ها می‌باشد گردید.



شکل ۱- تغییرات ویسکوزیته ظاهری نسبت به آهنگ برشی در نمونه‌های دسر لبنی کم‌چرب محتوی صمغ در مقایسه با نمونه‌های شاهد کم‌چرب و پرچرب. PG صمغ زدو و AG صمغ بادام می‌باشد.

جدول ۱- پارامترهای مدل اوستوالد دویل برازیده شده به رفتار جریانی نمونه‌های دسر لبنی

نمونه	K(pa.s^n)	n	R^2	μ_{10} (pa. s)
شاهد کم‌چرب	۵/۳۰±۰/۲۰^f	۰/۶۲±۰/۰۳^a	۰/۹۹۹	۲/۲۲±۰/۰۳^h
PG درصد ۰/۱	۷/۵۰±۱/۴۷^e	۰/۵۹±۰/۰۲^{bc}	۰/۹۹۷	۳/۰۲±۰/۰۲^f
PG درصد ۰/۲	۱۲/۱۸±۰/۲۶^b	۰/۵۴±۰/۰۰۴^e	۰/۹۹۶	۴/۳۲±۰/۰۱^c
PG درصد ۰/۳	۱۵/۹۱±۰/۴۸^a	۰/۵۱±۰/۰۰۷^f	۰/۹۹۸	۵/۱۴±۰/۰۱^a
AG درصد ۰/۱	۵/۷۰±۰/۴۳^f	۰/۶۰±۰/۰۰۶^{ab}	۰/۹۹۹	۲/۲۶±۰/۰۱^g
AG درصد ۰/۲	۸/۶۱±۰/۰۹^d	۰/۵۸±۰/۰۰۲^{bcd}	۰/۹۹۸	۳/۲۷±۰/۰۲^e
AG درصد ۰/۳	۹/۹۱±۰/۱۹^c	۰/۵۷±۰/۰۱۷^{cd}	۰/۹۹۶	۳/۶۸±۰/۰۳^d
شاهد پرچرب	۱۲/۶۵±۰/۱۸^b	۰/۵۶±۰/۰۲۲^{de}	۰/۹۹۹	۴/۴۸±۰/۰۱^b

حروف متفاوت انگلیسی در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار نمونه‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد. PG ، صمغ زدو و AG، صمغ بادام می‌باشد.

در ارتباط با تغییرات شاخص قوام، همانگونه که انتظار می‌رفت، کاهش چربی، کاهش چشمگیر این شاخص را برای دسرهای لبنی به همراه داشت ولی تلفیق هر یک از صمغ‌های زدو یا بادام به فرمولاسیون نمونه‌های کم‌چرب، باعث جبران بخشی از قوام از دست رفته آنها شد. اندیس قوام، شاخصی جهت ارزیابی بافت مواد غذایی نیمه‌جامد می‌باشد (Sopade *et al*., 1992) که در مورد دسرهای مورد بررسی این پژوهش در دامنه‌ی $pa.s^n$ ۱۵/۹۱–۵/۳۰ متغیر بود (جدول ۱). همچنین، افزایش میزان صمغ، با افزایش معنی‌دار ضریب قوام همراه بود ($p<0.05$) به گونه‌ای که نمونه‌ی محتوی ۰/۳ درصد زدو، بالاترین ضریب قوام را به خود اختصاص داد ($pa.s^n$ ۱۵/۹۱) و از این نظر حتی بر نمونه شاهد پرچرب نیز برتری محسوسی داشت (جدول ۱). در سوی دیگر، اندیس قوام نمونه‌ی ۰/۱ درصد صمغ بادام با نمونه شاهد کم‌چرب اختلاف معنی‌داری نداشت ($p\geq0.05$). البته، افزایش میزان این هیدروکلوئید در سطح ۰/۲ و ۰/۳ درصد، از تأثیر مثبت و قابل ملاحظه‌ای بر اندیس قوام نمونه‌ها برخوردار بود ($p<0.05$) ولی با این وجود، قوام آن همچنان نسبت به نمونه شاهد پرچرب به گونه معنی‌داری کمتر بود (جدول ۱). تغییرات ویسکوزیته حسی دسرهای لبنی ($\mu_{1.}$) نیز از روندی مشابه، از تغییرات اندیس قوام آنها پیروی کرد. تنها تفاوتی که بین روند تغییرات این دو پارامتر مشاهده شد بهبود معنی‌دار ویسکوزیته حسی نمونه کم‌چرب شاهد، حتی در حضور ۰/۱٪ صمغ بادام بود ($p<0.05$) این در حالی بود که بین اندیس قوام این دو نمونه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

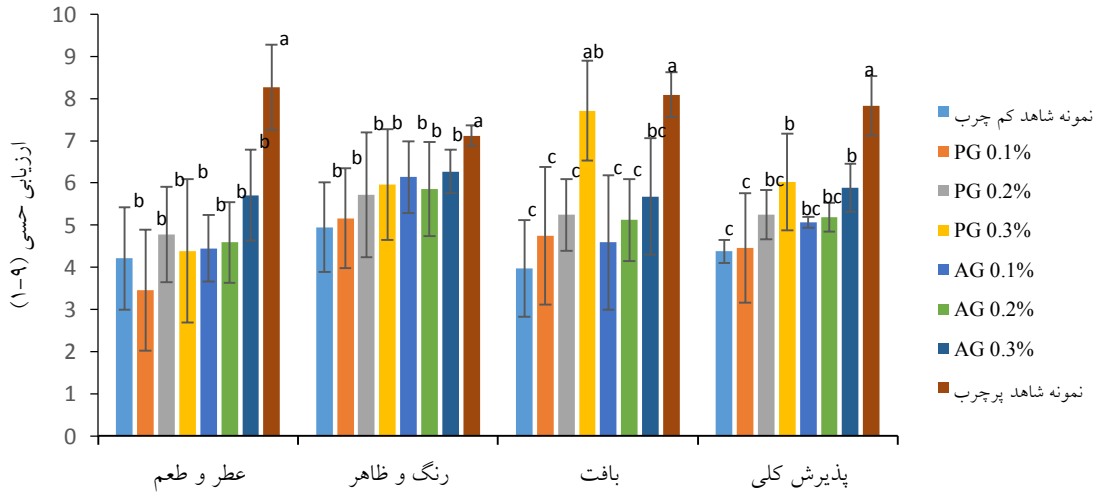
- ارزیابی حسی

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های دسر لبنی در شکل ۲ ارائه گردیده است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، کاهش میزان چربی موجب کاهش قابل توجه ($p<0/05$) نمره ارزیابی عطر و طعم نمونه‌ها گردید. هرچند بکارگیری صمغ‌های زدو یا بادام در فرمولاسیون دسرهای کم‌چرب منجر به بهبود نسبی میزان پذیرش عطر و طعم نمونه‌ها گردید اما این تغییرات میان نمونه شاهد کم‌چرب و نمونه‌های کم‌چرب حاوی صمغ معنی‌داری نبود ($p<۰/۰۵$). گروه ارزیاب، در مورد رنگ و ظاهر دسرهای مورد ارزیابی نیز همین نظر را داشتند. اگرچه نمرات ارزیابی رنگ و ظاهر نمونه کم‌چرب شاهد و انواع حاوی صمغ از نمره ارزیابی طعم آنها بهتر بود، ولی رنگ و ظاهر آنها همچنان به گونه چشمگیری کمتر از نمونه شاهد پرچرب، مورد استقبال مصرف‌کنندگان واقع شد ($p<0.05$). اما در ارتباط با نتایج ارزیابی بافت دسرهای لبنی، تأثیر حضور صمغ‌ها ملموس‌تر بود. بر اساس نظر پانل ارزیاب، افزایش غلظت صمغ با بهبود بافت همراه بود که البته این تأثیر گذاری تنها در غلظت ۰/۳٪ (از هر کدام از صمغ‌ها) از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($p<0.05$). همچنین لازم به ذکر است که نمونه حاوی ۰/۳٪ صمغ بادام، همچنان از مقبولیت کمتری نسبت به نمونه شاهد پرچرب برخوردار بود ($p<0.05$) ولی از این نظر، بین نمونه کم‌چرب حاوی ۰/۳٪ صمغ زدو و نمونه شاهد پرچرب تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p\geq0.05$). از آنجائیکه بافت دسرهای لبنی بیش از سایر پارامترهای حسی مورد بررسی تحت تأثیر حضور صمغ در فرمولاسیون این محصولات قرار گرفت، روند تغییرات پذیرش کلی نیز مشابه با روند تغییرات پذیرش بافت بود. البته با این تفاوت که بین میزان پذیرش کلی نمونه اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($p<0.05$).

بحث

- رفتار جریانی

همانگونه که در بخش یافته‌ها گزارش شد و آنگونه که انتظار می‌رفت، رفتار جریانی تمامی تیمارهای دسر لبنی مورد بررسی در این پژوهش، یک رفتار رقیق‌شونده با برش بود که رفتار معمول سیستم‌های ژلی ضعیف می‌باشد (Bayarri *et al*., 2010).رفتار رقیق شونده با برش نمونه‌های دسر لبنی پیش از این نیز توسط Tárrega و همکاران (۲۰۱۱، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۴)، Doublier و Durand (۲۰۰۸)، Tárrega و Costell (۲۰۰۶a, b) و Velez-Ruiz و همکاران (۲۰۰۵) گزارش شده بود. بروز چنین رفتاری به این دلیل است که مولکول‌ها در آهنگ‌های برشی پایین به صورت نامنظم آرایش یافته و تنها به صورت جزئی هم‌راستا می‌باشند که این به ایجاد ویسکوزیته بالا منجر می‌شود. هماهنگ با افزایش آهنگ برشی، هم‌راستایی مولکول‌ها بیشتر شده و در نتیجه‌ی کاهش اصطکاک داخلی، ویسکوزیته ظاهری کاهش می‌یابد



شکل ۲- ویژگی‌های حسی نمونه‌های دسر لبنی کم‌چرب محتوی صمغ در مقایسه با نمونه‌های شاهد کم‌چرب و پرچرب. PG، صمغ زدو و AG، صمغ بادام می‌باشد

(Glicksman, 1982). علی‌رغم تشابه رفتاری نمونه‌های دسر لبنی، بین پارامترهای رفتار جریانی آنها، یعنی شاخص جریان و شاخص قوام تفاوت‌هایی دیده شد؛ از جمله اینکه، نمونه شاهد کم‌چرب نسبت به همتای پرچرب خود از شاخص جریان به مراتب بالاتر و شاخص قوام به مراتب کمتری برخوردار بود که هر دو به معنای فاصله گرفتن رفتار دسر کم‌چرب از رفتار یک جامد ویسکوالاستیک و نزدیک‌شدن آن به رفتار یک سیال نیوتونی می‌باشد. انحراف رفتار جریانی دسرهای کم‌چرب از انواع پرچرب، پیشتر بوسیله سایر پژوهشگران نیز مشاهده شده است (Tárrega & Costell, 2006b; Bayarri *et al.*, 2010; Tárrega *et al.*, 2011). البته همانطور که پیشتر عنوان شد، عمده پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه، از اینولین به عنوان جایگزین چربی بهره جسته‌اند و در مورد صمغ‌ها نیز، کاراگینان بیش از سایرین مورد توجه بوده است. در این پژوهش‌ها، افزایش پارامترهایی مانند ویسکوزیته ظاهری، اندیس قوام، مدول ذخیره و کاهش پارامترهایی مانند شاخص جریان و فاکتور میرایی دسرهای لبنی کم‌چرب، به عنوان نشانه‌هایی بر افزایش خصوصیات ژلی این محصولات در در حضور جایگزین‌های چربی، در نظر گرفته شده است. پژوهشگران بر این باورند که کارآمدی یک جایگزین چربی در بازیابی خصوصیات ژلی از دست‌رفته دسرهای لبنی کم‌چرب، به توانایی آن در ایجاد برهم‌کنش با اجزای تشکیل‌دهنده ماتریس دسر لبنی و به ویژه پروتئین‌های آن، و به دنبال آن ایجاد ساختارهای ژلی جدید و یا تقویت ساختارهای تضعیف‌شده پیشین وابسته است (Bayarri *et al.*, 2010). Toker و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که از بین صمغ‌های کاراگینان، آلژینات، گوار و زانتان، کاراگینان بیش از سایرین در بهبود ویژگی‌های رئولوژیک دسرهای لبنی کم‌چرب موثر است و آن را به به برهم‌کنش‌های الکتروستاتیک قوی بین فراکسیون‌های مثبت کازئین و گروه‌های سولفات منفی کاراگینان نسبت دادند. پیشتر، به صورت مستقیم (Khlesi *et al.*, 2015) و یا ضمنی (Ghasempour *et al.*, 2012)، امکان برهم‌کنش صمغ زدو با پروتئین‌های شیر، بوسیله سایر پژوهشگران تأیید شده است. البته در مورد صمغ بادام، تاکنون پژوهشی در زمینه برهم‌کنش آن با پروتئین‌های شیر صورت نگرفته ولی با توجه به بهبود نسبی ویژگی‌های ژلی دسرهای مورد بررسی حاوی آن، فرضیه احتمال مشارکت آن در تشکیل یا تقویت ساختارهای ژلی را می‌توان محتمل دانست. یکی دیگر از پارامترهای رفتار جریانی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت، ویسکوزیته حسی بود. Tárrega و Costell (۲۰۰۷) در مطالعه رفتار جریانی دسر لبنی وانیلی گزارش نمودند که میان احساس دهانی، با میزان ویسکوزیته ظاهری در نرخ برش $10 s^{-1}$ یک همبستگی مطلوب وجود دارد. در سازگاری با یافته‌های پژوهش جاری، سایر پژوهشگران نیز، کاهش ویسکوزیته در اثر کاهش چربی و

افزایش آن در اثر افزودن جایگزین‌های چربی به فرمولاسیون دسرهای لبنی کم‌چرب را گزارش کرده‌اند (Tárrega & Costell, 2006b; Bayarri et al., 2010).

- ویژگی‌های حسی

یافته‌های این پژوهش نشان داد که حضور صمغ‌های زدو یا بادام در فرمولاسیون دسرهای لبنی کم‌چرب، عطر و طعم کاهش یافته این محصولات که در اثر کاهش چربی ایجاد شده بود را به‌طور قابل توجه بهبود نمی‌دهد. سایر پژوهشگرانی که در این زمینه کار کرده‌اند عنوان داشته‌اند که در غیبت یا حضور کمرنگ چربی، شدت شیرینی و یا طعم دسرهای لبنی شدیداً افزایش می‌یابد (Tárrega & Costell, 2006b; Bayarri *et al.*, 2010) و این امر از عوامل تعیین‌کننده در کاهش پذیرش این محصولات می‌باشد. Arcia و همکاران (۲۰۱۱) عنوان داشتند که با وجود دو برابر بودن میزان عصاره لیمویی مورد استفاده در فرمولاسیون دسرهای لبنی پرچرب نسبت به نمونه‌های کم‌چرب، شدت طعم لیمویی احساس‌شده در دسرهای کم-چرب بیشتر بود و آن را به نقش چربی در رهاسازی آهسته ترکیبات عامل عطر و طعم نسبت دادند. Tárrega و Costell (۲۰۰۶b) نشان دادند که حتی در حضور جایگزین چربی نیز، شدت طعم وانیلی و شیرینی دسرهای لبنی کم‌چرب نسبت به انواع پرچرب بیشتر می‌باشد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که تغییرات مطلوبیت رنگ و ظاهر دسرهای لبنی در نتیجه کاهش چربی یا حضور جایگزین‌های چربی، تقریباً از الگویی مشابه با تغییرات عطر و طعم آنها پیروی کرد. به نظر می‌رسد کاهش چربی باعث تفاوت رنگ و ظاهر دسرهای لبنی از نمونه پرچرب شده است و احتمالاً جایگزین‌های چربی در احیای این مطلوبیت از دست‌رفته ناتوان بوده‌اند. اما بر خلاف دو پارامتر یادشده، بافت دسرهای لبنی کم‌چرب به گونه مثبت و معنی‌داری تحت تأثیر حضور صمغ‌ها در فرمولاسیون این محصولات قرار گرفت. گفته می‌شود که کاهش چربی دسرهای لبنی معمولا کاهش قوام و خامه‌ای بودن آنها را به همراه دارد (Arcia *et al.*, 2011) و همین امر باعث کاهش رضایت مصرف‌کنندگان از مطلوبیت بافت دسرهای کم‌چرب می‌گردد. Arcia و همکاران (۲۰۱۱) بهبود چشمگیر دو پارامتر بافتی یادشده را در اثر استفاده از جایگزین چربی در فرمولاسیون دسرهای لبنی کم‌چرب گزارش کردند. Tárrega و Costell (۲۰۰۶a, b) نیز به یافته‌های مشابهی در این زمینه دست یافتند.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های رئولوژیکی محصولات لبنی از جمله عوامل موثر بر پذیرش این محصولات نزد مصرف‌کننده می‌باشد. علی‌رغم اینکه کلیه‌ی نمونه‌های دسر مورد بررسی در این پژوهش، دارای رفتار رقیق‌شونده با برش بودند ولی کاهش چربی باعث نزدیک‌شدن رفتار جریانی دسرهای لبنی به رفتار سیالات نیوتونی گردید و همین امر کاهش پذیرش مصرف‌کنندگان را به همراه داشت. رفتار جریانی نمونه‌های دسر لبنی کم‌چرب به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر جایگزین‌های چربی به کار برده شده در فرمولاسیون قرار گرفت. افزایش سطوح زدو و صمغ بادام منجر به افزایش اندیس قوام، ویسکوزیته ظاهری و کاهش شاخص رفتار جریانی نمونه‌ها گردید که در نتیجه منجر به افزایش رضایت مصرف‌کنندگان از ویژگی‌های حسی و بویژه بافت دسرهای لبنی کم‌چرب شد. نتایج این پژوهش نشان داد که صمغ بادام در غلظت‌های ۰/۲ و ۰/۳ درصد موثر واقع گردیده، در حالی که زدو در همه‌ی سطوح به کار رفته باعث بهبود معنی‌دار ویژگی‌های دسر لبنی کم‌چرب شد. نتایج این پژوهش نشان داد که با به کارگیری سطوح مشخصی از هر کدام از صمغ‌های زدو یا بادام در فرمولاسیون دسرهای تولیدی، می‌توان فرآورده‌ای با سطح کالری پایین و ویژگی‌های حسی نسبتاً قابل قبول تولید نمود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین به شماره ۹۴۱/۰۷ است و نویسندگان مقاله بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بابت حمایت مالی و معنوی تشکر می‌نمایند.

منابع

نبی‌زاده، ف.، خسروشاهی اصل، ا. و زمردی، ش. (۱۳۹۲). مطالعه تأثیر استفاده از پرمیت حاصل از تغلیظ شیر

به روش اولترافیلترلسیون و صمغ زدو بر ویژگی‌های کیفی دوغ. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد ۲۳ ، شماره ۴، ۵۸۰-۵۶۷.

Abbasi, S. & Mohammadi, S. (2013). Stabilization of milk–orange juice mixture using Persian gum: Efficiency and mechanism. Food Bioscience, 2, 53-60.

Arcia, P. L., Costell, E. & Tárrega, A. (2010). Thickness suitability of prebiotic dairy desserts: Relationship with rheological properties. Food Research International, 43, 2409–2416.

Arcia, P. L., Costell, E. & Tárrega, A. (2011). Inulin blend as prebiotic and fat replacer in dairy desserts: optimization by response surface methodology. Journal of Dairy Science, 94(5), 2192-2200.

Bayarri, S., Chulia, I. & Costell, E. (2010). Comparing λ-carrageenan and an inulin blend as fat replacers in carboxymethyl cellulose dairy desserts. Rheological and sensory aspects. Food Hydrocolloids, 24(6), 578-587.

Bayarri, S., González-Tomás, L., Hernando, I., Lluch, A. & Costell, E. (2011). Texture perceived on inulin-enriched low-fat semisolid dairy desserts. Rheological and structural basis. Journal of Texture Studies, 42, 174-184.

Doublier, J. L. & Durand, S. (2008). A rheological characterization of semi-solid dairy systems. Food Chemistry, 108, 1169–1175.

Ghasempour, Z., Alizadeh, M. & Bari, M. R. (2012). Optimization of probiotic yoghurt production containing Zedo gum. International Journal of Dairy Technology, 65(1), 118-125.

Glicksman, M. (1982). Food Hydrocolloids. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., pp. 68–75.

González-Tomás, L., Bayarri, S., Taylor, A. J. & Costell, E. (2008). Rheology, flavour release and perception of low-fat dairy desserts. International Dairy Journal, 18(8), 858-866.

González-Tomás, L. & Costell E. (2006). Relation between consumers' perceptions of color and texture of dairy desserts and instrumental measurements using a generalized procrustes analysis. Journal of Dairy Science, 89, 4511-4519.

Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E. & Emam-Djomeh, Z. (2015). Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis. International Journal of Dairy Technology, 68(1), 70-78.

Khalesi, H., Emadzadeh, B., Kadkhodaee, R. & Fang, Y. (2015). Whey protein isolate-Persian gum interaction at neutral pH. Food Hydrocolloids, 1-5.

Mahfoudhi, N., Chouaibi, M., Donsì, F., Ferrari, G. & Hamdi, S. (2012). Chemical composition and functional properties of gum exudates from the trunk of the almond tree (*Prunus dulcis*). Food Science and Technology International, 18(3), 241-250.

Mahfoudhi, N., Sessa, M., Chouaibi, M., Ferrari, G., Donsì, F. & Hamdi, S. (2014). Assessment of emulsifying ability of almond gum in comparison with gum arabic using response surface methodology. Food Hydrocolloids, 37, 49-59..

Rahimi, J., Khosrowshahi, A., Madadlou, A. & Aziznia, S. (2007). Texture of low-fat Iranian white cheese as influenced by gum tragacanth as a fat replacer. Journal of Dairy Science, 90, 4058–4070.

Sopade P. A. & Kassum A. L. (1992). Rheological characterization of akamu a semi-fluid food From maize millet and sorghum. Journal of Cereal Science, 15, 193-202.

Tárrega, A., Durán, L. & Costell, E. (2004). Flow behavior of semi-solid dairy desserts. Effect of temperature. International Dairy Journal, 14(4), 345-353.

Tárrega, A., Durán, L. & Costell, E. (2005). Rheological characterization of semisolid dairy desserts. Effect of temperature. Food Hydrocolloids, 19(1), 133-139.

Tárrega, A. & Costell, E. (2006a). Effect of composition on the rheological behavior and sensory properties of semisolid dairy desserts. Food Hydrocolloids, 20, 914-922.

Tárrega, A. & Costell, E. (2006b). Effect of inulin addition on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. International Dairy Journal, 16(9), 1104-1112.

Tárrega, A. & Costell, E. (2007). Colour and consistency of semi-solid dairy desserts: Instrumental and sensory measurements. Journal of Food Engineering, 78(2), 655-661.

Tárrega, A., Torres, J. D. & Costell, E. (2011). Influence of the chain-length distribution of inulin on the rheology and

desserts. Journal of Food Engineering, 104(3), 356-363.

Toker, O. S., Dogan, M., Canıyılmaz, E., Ersöz, N. B. & Kaya, Y. (2013). The effects of different gums and their interactions on the rheological properties of a dairy dessert: a mixture design approach. Food and Bioprocess Technology, 6(4), 896-908.

Velez-Ruiz, J. F., Gonzalez-Tomas, L. & Costell, E. (2005). Rheology of dairy custard model systems: Influence of milk-fat and hydrocolloid type. European Food Research and Technology, 221, 342–347.