بررسی اثر صمغ‌های فارسی و بادام به‌عنوان جایگزین چربی بر ویژگی‌های بافتی و ریزساختار پنیر فراپالوده کم‌چرب

حدیث رستم آبادی[a]، حسین جوینده[b*]، محمد حجتی[c]

[a] *دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ایران*
[b] *دانشیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ایران*
[c] *استادیار گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۸/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۱۰

چکیده

مقدمه: طی سال‌های اخیر، افزایش تقاضای مواد غذایی کم‌چرب از سوی مصرف‌کنندگان منجر به تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تولید این محصولات با همان ویژگی‌های نمونه‌های پرچرب آن شده است. پژوهش پیش رو با هدف بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی فراپالوده کم‌چرب با استفاده از جایگزین‌های چربی صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: بهینه‌سازی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) و در قالب طرح سه متغیره در سه سطح توسط طرح باکس‌بنکن انجام گرفت. متغیرهای فرآیند شامل درصد چربی (۱۰-۳٪)، صمغ فارسی (۰/۲-۰) و صمغ بادام (۰/۲-۰) و پاسخ‌ها شامل ویژگی‌های بافتی بودند.

یافته‌ها: یافته‌ها حاکی از آن بود که با افزایش مقادیر چربی ($p<0/01$) و صمغ فارسی ($p<0/05$) بافت پنیر بطور معنی‌داری نرم‌تر گردید و به علاوه مقادیر سفتی، پیوستگی، ارتجاع‌پذیری، مقاومت به جویدن و حالت صمغی نمونه‌های پنیر کاهش و مقدار چسبندگی آن‌ها به‌طور معنی‌داری ($p<0/05$) افزایش یافت. اگرچه افزودن صمغ بادام نتایج مشابهی به همراه داشت اما تأثیر آن بر تمامی پارامترهای مذکور معنی‌دار نبود. بررسی ریزساختار توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نیز نشان داد که نمونه بهینه و شاهد پرچرب از شبکه بازتر و درنتیجه ساختار ضعیف‌تری نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج بهینه‌سازی، نمونه‌ی کم‌چرب محتوی ۱۰ درصد چربی، ۰/۲۰ درصد صمغ فارسی و ۰/۱۴ درصد صمغ بادام به عنوان نمونه بهینه برگزیده شد. در نتیجه، با افزودن هیدروکلوئیدهای بومی در فرمولاسیون پنیر کم‌چرب می‌توان نقایص بافتی مربوط به کاهش چربی را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: *بهینه‌سازی، بافت، پنیر فراپالوده، ریزساختار*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: hosjooy@yahoo.com

مقدمه

با افزایش آگاهی مردم نسبت بـه مصرف چربی، تقاضا برای محصولات غذایی کم‌چرب از جمله پنیر افزایش یافته است. بر این اساس، تولید پنیر کم‌چربی که ویژگی‌های کیفی آن مورد قبول مصرف‌کننده باشد از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (Kavas *et al.*, 2004). یکی از معمول‌ترین روش‌های تولید پنیر کم‌چرب استفاده از جانشین‌های چربی[1] است.

صمغ‌ها پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا هستند و در مواد غذایی به عنوان جایگزین چربی به کار می‌روند (Napier, 1997). صمغ فارسی، صمغ ترشحی شفافی است که از درخت بادام کوهی با نام *آمیگدالوس اسکوپاریا اسپچ*[2]، از خانواده گلسرخیان[3] به‌دست می‌آید. علاوه بر خصوصیات عملکردی، طبیعی و بومی‌بودن و همچنین قابلیت دسترسی بالا به آن، کاربرد این صمغ را در صنایع غذایی از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر می‌کند (عباسی و رحیمی، ۱۳۸۷). آلموند گام[4] یا صمغ درخت بادام از تنه و شاخه‌های درخت *پرونوس دولسیس*[5] 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).

پنیر سفید، یکی از انواع رایج و معروف پنیر در منطقه خاورمیانه است. در ایران نیز این نوع پنیر به صورت فراپالوده، مصرف قابل توجهی را به عنوان جزء اصلی صبحانه دارد. فراپالایش[6] یک عملیات جداسازی غشایی است که به طور انتخابی پروتئین و چربی شیر را تغلیظ می‌کند. فرآیند فراپالایش شیر باعث تولید تراوه یا پرمییت[7] و ناتراوه یا ریتنتیت[8] می‌گردد. تراوه که فاز عبوری یا پساب نیز نامیده می‌شود، حاوی آب، لاکتوز، املاح محلول، نیتروژن غیر پروتئینی و ویتامین‌های محلول در آب می‌باشد و ناتراوه یا شیر تغلیظ‌شده که فاز ماندگار نیز نامیده می‌شود، شامل کازئین، پروتئین‌های آب‌پنیر، چربی و نمک‌های کلوئیدی است. حذف آب قبل از عملیات پنیرسازی باعث می‌شود که میزان سینرسیس یا آب‌اندازی مورد نیاز کاهش یابد و پروتئین‌های آب‌پنیر در طی تولید پنیر در داخل لخته به دام افتند (Bylund, 1995).

همانگونه که در بالا عنوان گردید، با توجه به اثرات سوء مصرف مواد غذایی پرچرب بر سلامتی افراد جامعه، امروزه تولید و تقاضای مواد غذایی کم‌چرب از جمله پنیر مورد توجه قرار گرفته است. درهرحال، چربی جدای از نقش تغذیه‌ای خود، بر ویژگی‌های حسی و کاربردی پنیر نیز نقش بسزایی دارد (Costa *et al.*, 2012). به همین دلیل تحقیقات مختلفی در زمینه بکارگیری صمغ‌های گوناگون جهت تولید پنیر کم‌چرب با کیفیت مشابه با نوع پرچرب آن صورت پذیرفته است. طی پژوهشی در سال ۲۰۱۱، Oliveira و همکاران خواص بافتی پنیر ادام سبز[9] کم-چرب محتوی صمغ گوار را مورد مطالعه قرار دادند. این محققین اظهار داشتند که کاربرد صمغ گوار در فرمولاسیون پنیر، منتج به بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی نمونه‌ها گردید. همچنین، قنبری شندی و همکاران (۱۳۹۰)، تأثیر استفاده از صمغ زانتان را به عنوان جایگزین چربی بر ویژگی‌های بافتی پنیر سفید ایرانی کم‌چرب مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش این محققین نشان داد که با افزایش غلظت صمغ زانتان، ویژگی‌های بافتی پنیر کم‌چرب بهبود یافته و پنیر نرم‌تر گردید. به طوری که پنیر کم‌چرب محتوی ۰/۰۷ گرم زانتان ویژگی‌های مشابه پنیر شاهد پرچرب (تهیه شده از شیر حاوی ۳/۲ درصد چربی، بدون صمغ) نشان داد. طی مطالعه‌ای دیگر، در سال ۲۰۰۷، رحیمی و همکاران تأثیر استفاده از غلظت‌های مختلف صمغ کتیرا را بر بافت پنیر سفید ایرانی کم‌چرب در طول دوره‌ی رسیدن مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که غلظت بالای صمغ، سختی را کاهش داده و موجب مشابهت ویژگی‌های پنیر کم‌چرب به نمونه پرچرب گردید.

لازمه تعیین بهترین سطوح صمغ در فرمولاسیون پنیر کم‌چرب تولیدی که بتواند ویژگی‌هایی مشابه با نمونه پرچرب ایجاد نماید، انجام آزمون‌های فراوان می‌باشد که فرآیندی هزینه بر و زمان‌بر است. RSM[10] ابزاری مناسب جهت بهینه‌سازی فرمولاسیون محصولات جدید می‌باشد. با استفاده از این روش، تعداد تیمارها و به دنبال آن، هزینه و زمان مورد نیاز برای انجام پژوهش به گونه قابل

[1] Fat Replacers [2] *Amygdaluhs scoparia* Spach [3] Rosaceace [4] Almond Gum [5] *Prunus dulcis*
[6] Ultrafiltration [7] Permeate [8] Retentate [9] Green Edam Cheese [10] Response Surface Methodology

ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Goudarzi *et al.*, 2015). بر این اساس، هدف پژوهش جاری، بهینه‌سازی اجزای فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فراپالایش با استفاده از روش سطح پاسخ و در جهت تولید محصولی با ویژگی‌های بافتی مشابه با همتای پرچرب آن بوده است.

مواد و روش‌ها

- مواد

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شیر مورد استفاده توسط دستگاه آنالایزر شیر[1] (مدل JET1/90، شرکت میلک اسکن[2]، ساخت بلغارستان) اندازه‌گیری و نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردیده است.

در تهیه پنیر فراپالوده از آغازگر مزوفیل CHOOZIT ۲۳۰ محتوی سویه‌های *لاکتوکوکوس لاکتیس* زیرگونه‌ی *کرموریس* و *لاکتوکوکوس لاکتیس* زیرگونه *لاکتیس* و آغازگر ترموفیل YO-MIX ۵۳۲ محتوی سویه‌های *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیرگونه *بولگاریکوس* (در بسته‌بندی صنعتی شرکت لبنی دانیسکوی آلمان) استفاده شد که به نسبت مساوی با یکدیگر مخلوط و به میزان ۰/۵ درصد در تهیه پنیر استفاده شدند. به عنوان انعقادگر، از رنت کی‌مکس[3] (شرکت لبنی هانسن دانمارک) حاصل از کیموزین به‌دست آمده از تخمیر *آسپرژیلوس نایجر* واریته *آواموری*[4] به میزان ۰/۰۳ گرم بر کیلوگرم ناتراوه استفاده گردید. پودرMPC [5]یا کنسانتره پروتئینی شیر (دارای۷۰ ٪ پروتئین، ۱۶/۵ ٪ لاکتوز، ۸ ٪ خاکستر و ۰/۵ ٪ چربی) از شرکت پگاه خراسان مورد استفاده قرار گرفت. صمغ فارسی از منطقه خوزستان (شهر دزفول) و صمغ درخت بادام نیز از مناطق کوهستانی استان لرستان تهیه گردید. صمغ‌ها به وسیله اتانول ۹۶ درصد شسته شده و درون آون (مدل Heraeus، مدل UT ۵۰۴۲، آلمان) با دمای ۵۰°C خشک شدند. هر دو صمغ با آسیاب برقی (ناسیونال، ایران) پودر شده و جهت به دست‌آوردن ذرات با اندازه‌ی یکنواخت از الک با مش ۳۵ با قطر منافذ ۰/۵ میلی متر عبور داده شدند. سایر مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش با درجه خلوص بالا از شرکت مرک (دارمستادت[6]، آلمان) خریداری شدند.

- روش‌ها

- روند پنیرسازی

تمامی نمونه‌های پنیر با سطوح مختلف چربی و با ماده خشک ۳۲ درصد در شرکت پگاه خوزستان تولید شدند. به منظور تولید پنیرهای فراپالوده کم‌چرب، نیم‌چرب و پرچرب از ریتنتیت یا ناتراوه پرچرب (حاوی ۱۶٪ چربی و ۳۲ ٪ ماده خشک) و محلول کنسانتره پروتئینی شیر (با ماده خشک برابر ۳۲٪) استفاده گردید. جهت تراوه پرچرب از شیر تازه کامل استفاده گردید. شیر پس از دو مرحله باکتوفوگاسیون، پاستوریزاسیون و عبور از فیلتر (تغلیظ ۵ برابر) وارد تانک تعادل خط غشای فراپالایش گردید و با عبور از غشای مذکور شیر به دو بخش تراوه یا بخش عبوری و ناتراوه یا فاز ماندگار تقسیم شد. در ادامه ناتراوه پرچرب به پاستوریزاتور صفحه‌ای با دمای ۷۸°C رفته و به مدت ۱۶ ثانیه پاستوریزه گردید. به منظور تنظیم چربی و تولید نمونه‌های کم‌چرب و نیم‌چرب، ناتراوه پرچرب به مقدار مناسب با ناتراوه کم‌چرب تهیه شده از پودر MPC مخلوط گردید. صمغ‌های فارسی و بادام بر اساس غلظت‌های تعریف‌شده در طرح آماری به ناتراوه کم‌چرب و نیم‌چرب اضافه شدند و نمونه‌ها (ناتراوه پرچرب یا کم‌چرب) در فشار ۷۰ بار با استفاده از دستگاه هموژنایزر (Ronghe machinery، مدل JHG-Q60-P60 ساخت چین) هموژن شدند. عمل پاستوریزاسیون مجدد نمونه‌ها در دمای ۷۵°C به مدت ۱۵ ثانیه صورت پذیرفت و کشت آغازگر به نمونه‌ها افزوده شد. سپس ناتراوه در ظروف پنیر ۲۰۰ میلی‌لیتر پر و به خط انعقاد با دمای ۳۲°C انتقال داده شد. بسته‌ها به مدت ۲۵ دقیقه وارد خط انعقاد گردیدند و در

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی شیر خام مورد استفاده جهت تولید نمونه‌های پنیر فراپالوده

pH	چربی (٪)	لاکتوز (٪)	نقطه انجماد (°C)	ماده جامد بدون چربی (٪)	پروتئین (٪)	دانسیته
۶/۶۶ ± ۰/۰۱	۳/۲ ± ۰/۰۱	۴/۷۲ ± ۰/۱۴	-۰/۵۲۵ ± ۰/۰۲	۸/۰۳ ± ۰/۰۲	۳/۱ ± ۰/۲۲	۱/۰۲۷ ± ۰/۰۰۲

[1] Ekomilk [2] Milk Scan [3] Chy-Max [4] *Aspergillus niger var. awamori* [5] Milk Protein Concentrate Powder [6] Darmstadt

پایان ۴ گرم نمک (۲ درصد) روی کاغذ پارچمنت ریخته شد. نمونه‌های شاهد پرچرب (۱۶ درصد چربی و ۳۲ درصد ماده خشک) نیز جهت مقایسه با نمونه‌های کم‌چرب تولید گردید. در نمونه‌های شاهد کم‌چرب و پرچرب از صمغ استفاده نشد. سپس پنیرها در دمای ۲۹°C تا رسیدن pH نمونه‌ها به ۴/۸ گرمخانه‌گذاری شدند و آن‌گاه به درون سردخانه با دمای ۵°C منتقل گردیدند. تمام نمونه‌های پنیر تولید شده پس از گذشت ۶۰ روز از تولید تحت آزمون‌های مربوطه قرار گرفتند.

- ویژگی‌های پروفیل بافت (TPA)

به منظور بررسی ویژگی‌های بافتی پنیر فراپالوده آزمون TPA با استفاده از دستگاه آنالیزگر بافت[1] (Stable Micro System، مدل TA.XT.PLUS، ساخت انگلستان) انجام پذیرفت. در این آزمون، پروب آلومینیومی با قطر ۵ mm و سرعت پیشانی و حرکت آزمون ۱ mm/s مورد استفاده قرار گرفت. پروب تا ۵۰ درصد از ارتفاع نمونه (عمق ۱۰ میلی‌متر) پایین رفته و ویژگی‌های بافت نمونه‌های پنیر از جمله سختی[2]، چسبندگی[3]، قابلیت جویدن[4]، صمغی‌بودن[5]، انسجام[6] و حالت ارتجاعی یا فنریت[7] مورد ارزیابی قرار گرفت (Jooyandeh, 2009).

- ریزساختار

پس از انجام کلیه آزمون‌ها و تعیین بهترین نمونه‌ی کم‌چرب حاوی صمغ، ریزساختار نمونه مذکور به همراه دو نمونه‌ی شاهد پرچرب و کم‌چرب توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM[8]) با استفاده از روش مددلو و همکاران (۲۰۰۷) بررسی گردید (Madadlou *et al.*, 2007). نمونه‌ها به مدت ۶ دقیقه با استفاده از دستگاه اسپاترکوتر[9] (مدل A450X، شرکت EMITECH، ساخت انگلیس) طلاافشانی شدند. عکس نمونه‌ها با استفاده از SEM (مدل VEGA\\TESCAN-XMU، شرکت TESCAN، ساخت جمهوری چک)، با جریان ۳ کیلوولت و با بزرگنمایی ۲۵۰۰ گرفته شد و با استفاده از نرم‌افزار تحلیل‌گر تصاویر image J (Image J, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA) تصویر دو بعدی نمونه‌ها به تصاویر سه بعدی تبدیل شد (Karami *et al.*, 2009).

- تجزیه و تحلیل آماری

بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی کم‌چرب، با استفاده از روش سطح پاسخ و به کارگیری طرح باکس-بنکن[10] در قالب طرح سه متغیره در سه سطح انجام گرفت. متغیرهای فرآیند شامل درصد چربی (۱۰-۳٪)، صمغ فارسی (۰/۲-۰٪) و صمغ بادام (۰/۲-۰٪) و پاسخ‌ها شامل ویژگی‌های بافتی نمونه‌های پنیر بودند. سطوح هر یک از متغیرها در جدول ۲ و ۳ بصورت کددار مشخص شده است

یک مدل چند جمله‌ای درجه دوم (رابطه ۱) به داده‌های تجربی برازیده شد، که Y پاسخ (میانگین خطای مطلق) و $\beta 0$، βi، βii و βij ضرایب رگرسیونی به‌ترتیب برای عرض از مبداء، خطی، درجه دوم و برهم‌کنش‌ها بوده و Xi و Xj متغیرهای مستقل می‌باشند. تحلیل سطح پاسخ و ترسیم نمودار با استفاده از مینی‌تب نسخه‌ی ۱۵/۱/۱/۰ (شرکت مینی‌تب، ایالات متحده) انجام شد.

رابطه (۱)

$$Y = \beta_* + \sum_{i=1}^{3} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{3} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=i+1}^{3} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon_{ij}$$

جدول ۲- سطوح متغیرهای طرح باکس‌بنکن مورد استفاده برای بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیرهای فراپالوده کم‌چرب، به صورت کددار و غیرکددار

متغیرهای فرمولاسیون	سطوح		
	۱	۰	-۱
درصد صمغ بادام (X_1)	۰/۲	۰/۱	۰
درصد صمغ فارسی (X_2)	۰/۲	۰/۱	۰
درصد چربی (X_3)	۱۰	۶/۵	۳

[1] Texture Analyzer [2] Hardness [3] Adhesiveness [4] Chewiness [5] Gumminess [6] Cohesiveness
[7] Springiness [8] Scanning Electron Microscopy [9] Sputter-Coater [10] Box-Behnken Design

یافته‌ها

- ویژگی‌های پروفیل بافت

سختی. TPA روشی است که عمل جویدن ماده غذایی را در دهان تقلید می‌کند. سختی نمونه‌های پنیر براساس بیشینه‌ی نیرو در گاز زدن اول تعریف می‌گردد و از نظر حسی نیروی مورد نیاز جهت نفوذ دندان‌های آسیاب به درون نمونه می‌باشد (Boune, 1978). نتایج موجود در جدول ۴ حاکی از آن است که کاهش محتوای چربی، به گونه‌ی چشمگیری ($p<۰/۰۱$) سختی نمونه‌ها راتحت تأثیر قرار داده است. با توجه به نمودار سه بعدی سطح پاسخ ارائه شده در شکل ۱، افزودن صمغ فارسی در نمونه‌های پنیر موجب نرم‌شدن معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بافت گردید و با افزایش غلظت آن نرمی بافت به میزان بیش‌تری افزایش یافت. این در حالیست که صمغ بادام از تأثیر معنی‌داری بر میزان سختی بافت نمونه‌های پنیر برخوردار نبود. اگرچه منفی‌بودن ضریب آن در مدل ارائه شده حاکی از اثر آن بر کاهش سختی پنیر می‌باشد.

جدول ۳- نمایش طرح آزمون‌ها بر اساس طرح باکس بنکن با استفاده از سه متغیر

ترتیب استاندارد	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥
میزان چربی(٪)	۶/۵	۶/۵	۶/۵	۶/۵	۳	۳	۱۰	۱۰	۳	۳	۱۰	۱۰	۶/۵	۶/۵	۶/۵
صمغ فارسی	۰	۰	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۲	۰	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱
صمغ بادام	۰	۰/۲	۰	۰/۲	۰	۰/۲	۰	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱

جدول ٤- تجزیه واریانس (ANOVA) میانگین نتایج مربوط به تأثیر سطوح مختلف چربی و صمغ‌های فارسی و بادام بر پارامترهای بافت پنیر سفید فراپالوده کم‌چرب

Source	سختی (N)	چسبندگی (N.mm)	انسجام	خاصیت ارتجاعی (mm)	حالت صمغی (N)	قابلیت جویدن (N.mm)
Model-coefficient						
Intercept	۴/۶۰۹***	۰/۷۶۴***	۰/۵۱۱***	۸/۷۴۳***	۲/۳۵۷***	۲۰/۵۹۹***
X_1	−۰/۰۶۱	۰/۰۸۶	−۰/۰۰۴	−۰/۰۸۸	−۰/۰۵۵	−۰/۷۳۶
X_2	−۰/۱۶۶*	۰/۱۳۳*	−۰/۰۱۶*	−۰/۲۵۲*	−۰/۱۶۰*	−۲/۰۰۳***
X_3	−۰/۶۴۹***	۰/۳۲۹***	−۰/۰۷۱***	−۰/۹۷۷***	−۰/۶۶۹***	−۷/۹۸۷***
$X_1. X_1$	۰/۰۵۶	۰/۰۵۴	۰/۰۰۶	۰/۰۲۹	۰/۰۴۵	۰/۴۷۸
$X_2. X_2$	−۰/۰۰۱	۰/۰۵۶	−۰/۰۰۵	۰−/۰۱۴	−۰/۰۲۶	−۰/۰۸۰
$X_3. X_3$	۰/۱۰۰	۰/۰۶۰	−۰/۰۰۰	۰−/۴۶۶*	۰/۰۹۰	۰/۴۱۹
$X_1. X_2$	۰/۰۰۳	۰/۱۱۶	−۰/۰۰۲	−۰/۰۱۳	−۰/۰۰۹	−۰/۰۴۹
$X_1. X_3$	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۱۱۵	۰/۰۳۲	۰/۷۴۹
$X_2. X_3$	۰/۰۲۵	۰/۰۸۰	−۰/۰۰۰	۰/۰۵۵	۰/۰۴۸	۰/۹۸۸
R^2	۰/۹۵۷	۰/۹۵۷	۰/۹۶۵	۰/۹۶۰	۰/۹۷۸	۰/۹۸۴
R^2-adjust	۰/۸۸۰	۰/۸۸۰	۰/۹۰۲	۰/۸۹۰	۰/۹۳۹	۰/۹۵۵
***P*-value**						
Lack-of-Fit	۰/۰۷۸	۰/۰۷۷	۰/۶۷۷	۰/۹۳۸	۰/۱۲۴	۰/۰۷۴
Regression	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Linear	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Quadratic	۰/۷۱۲	۰/۴۶۵	۰/۸۱۳	۰/۰۹۷	۰/۴۸۸	۰/۸۴۳
Interaction	۰/۹۹۱	۰/۱۷۰	۰/۹۷۲	۰/۸۲۷	۰/۸۴۳	۰/۴۱۷

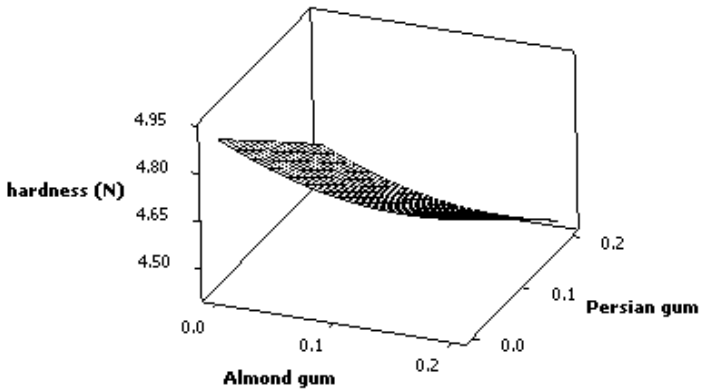
X_1، X_2 و X_3 به ترتیب درصد صمغ بادام، صمغ فارسی و چربی هستند؛ *** معنی‌داری در ($p<0.001$)، ** معنی‌داری در ($p<0.01$) و * معنی‌داری در ($p<0.05$)؛ b-coefficient، ضریب هر متغیر در مدل توصیف‌کننده ویژگی‌های پنیر سفید ایرانی فراپالوده بر اساس اجزای فرمولاسیون آن می‌باشد. علامت مثبت این ضریب نشان‌دهنده اثر افزایشی و علامت منفی نشان‌دهنده اثر کاهشی آن متغیر در ارتباط با پاسخ مورد بررسی است.

چسبندگی. مقدار نیروی مورد نیاز جهت جداسازی مواد غذایی از کام در حین خوردن غذا، چسبندگی می‌باشد (Boune, 1978). آنالیز داده‌ها (جدول ۴) نشان داد چسبندگی نمونه‌ها به طور معنی‌داری تحت تأثیر افزایش درصد چربی ($p<۰/۰۱$) و صمغ فارسی ($p<۰/۰۵$) قرار گرفت و با افزایش مقادیر صمغ و چربی چسبندگی افزایش یافت.

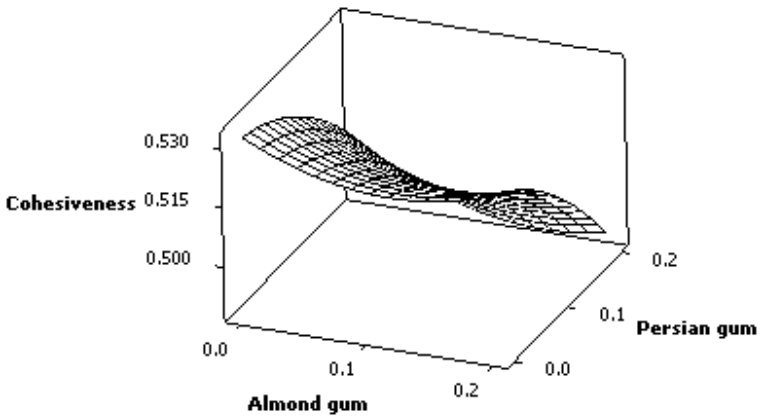
انسجام. همان‌گونه که در جدول ۴ و شکل ۲ نیز قابل مشاهده است، افزایش محتوای چربی ($p<۰/۰۱$)، غلظت صمغ فارسی ($p<۰/۰۵$) موجب کاهش قابل توجه انسجام نمونه‌های پنیر فراپالوده گردید. هرچند که صمغ بادام موجب کاهش جزئی انسجام گردید، اما از تأثیر معنی‌داری در این زمینه برخوردار نبود.

خاصیت ارتجاعی. خاصیت ارتجاعی یا الاستیسیته بر اساس شدت بازگشت ماده غذایی به حالت اولیه بعد از اعمال فشار جزئی به آن در دهان تعریف می‌گردد (Boune, 1978). با توجه به نتایج جدول ۴ و شکل ۳ افزایش محتوای چربی ($p<۰/۰۱$) و غلظت صمغ فارسی ($p<۰/۰۵$) منتج به کاهش چشمگیر خاصیت ارتجاعی نمونه‌های پنیر فراپالوده شد.

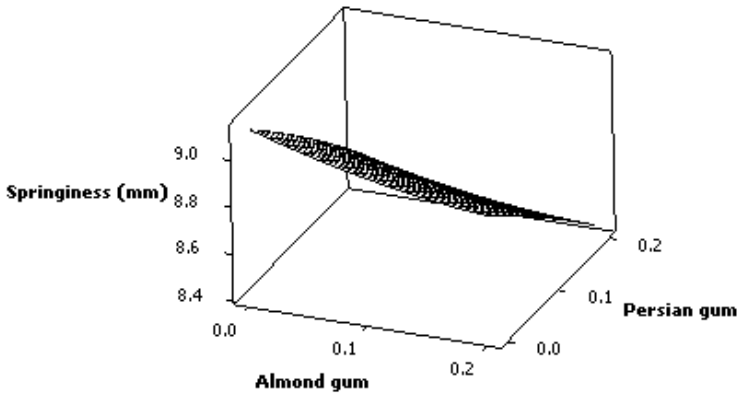
قابلیت جویدن و حالت صمغی. با استناد به نتایج جدول ۴، افزایش مقادیر چربی ($p<۰/۰۱$) و غلظت صمغ فارسی ($p<۰/۰۵$) موجب کاهش قابل توجه حالت صمغی پنیر فراپالوده گردید. از طرفی، افزایش چربی و صمغ فارسی، به گونه چشمگیری ($p<۰/۰۱$) مقاومت به جویدن نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و منجر به کاهش آن شد. این درحالیست که صمغ بادام در این قسمت نیز از تأثیر چشمگیری بر پارامترهای یادشده برخوردار نبود.



شکل ۱- نمودار رویه سه بعدی برهمکنش صمغ‌های فارسی و بادام بر سختی پنیر فراپالوده کم‌چرب



شکل ۲- نمودار رویه سه بعدی برهم کنش صمغ‌های فارسی و بادام بر انسجام پنیر فراپالوده کم‌چرب



شکل ۳- نمودار رویه سه بعدی برهم کنش صمغ‌های فارسی و بادام بر خاصیت ارتجاعی پنیر فراپالوده کم‌چرب

جدول ۵- جدول تأیید آماری مدل در پیش‌گویی مقادیر بهینه سطوح مختلف چربی و صمغ‌های فارسی و بادام برای فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی فراپالوده کم‌چرب

پارامتر	فرمولاسیون بهینه			مقدار پیش‌بینی شده	مقدار بدست آمده[a]	میانگین خطای استاندارد	اختلاف میانگین	*p*-Value
	چربی (٪)	صمغ فارسی (٪)	صمغ بادام (٪)					
	۱۰	۰/۲۰	۰/۱۴					
سختی (نیوتن)				۳/۹۰	۳/۵۴±۰/۱۵	۰/۰۸۷	−۰/۳۶۰	۰/۰۵۴
چسبندگی (نیوتن در میلی‌متر)				۱/۵۴	۱/۶۶±۰/۰۷	۰/۰۴۴	۰/۱۷۳	۰/۰۵۹
انسجام یا پیوستگی				۰/۴۱	۰/۵۸±۰/۰۷	۰/۰۴۳	۰/۱۷۳	۰/۰۵۸
قابلیت ارتجاعی (میلی‌متر)				۷/۱۱	۶/۴۸±۰/۳۰	۰/۱۷۷	−۰/۶۲۳	۰/۰۷۲
حالت صمغی (نیوتن)				۱/۶۵	۱/۴۲±۰/۱۳	۰/۰۷۵	−۰/۲۲۶	۰/۰۹۵
قابلیت جویدن (نیوتن در میلی‌متر)				۱۲/۰۲	۱۱/۳۴±۰/۵۶	۰/۳۲۳	−۰/۸۶۰	۰/۱۱۷

a مقادیر ارائه شده میانگین سه تکرار می‌باشد.

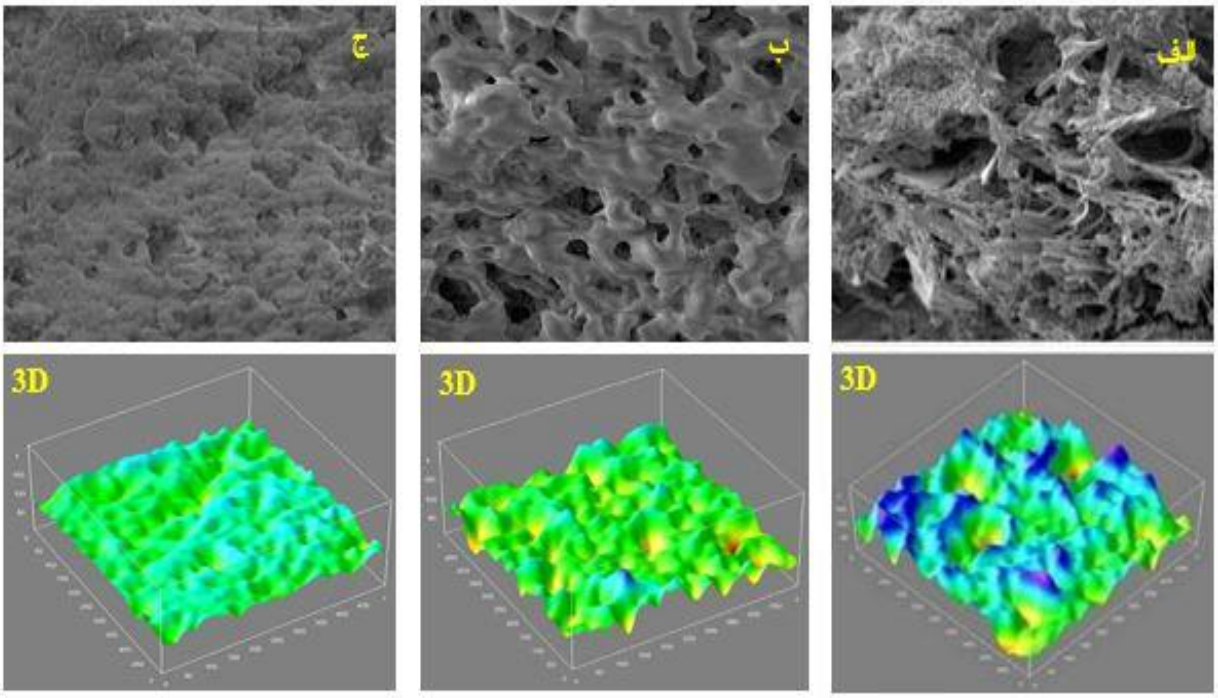
- بهینه‌سازی و تأیید مدل

بهینه‌سازی بر اساس مشابهت ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها به نمونه پرچرب صورت پذیرفت. روش سطح پاسخ نشان داد که با استفاده از غلظت بهینه ۱۰ درصد چربی، ۰/۲ درصد صمغ فارسی و ۰/۱۴ درصد صمغ بادام در فرمولاسیون پنیر سفید فراپالوده کم‌چرب، می‌توان پنیری با ویژگی‌های بافت قابل قبول تولید کرد (جدول ۵).

به منظور تأیید آماری صحت پیش‌گویی مدل‌های رگرسیونی، نمونه بهینه با فرمولاسیون پیشنهادی تهیه گشته و پارامترهای یادشده اندازه‌گیری شدند و با مقادیر پیش‌بینی‌شده بوسیله مدل‌های ریاضی، مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج تحلیل آماری نشان داد که عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مقادیر اندازه‌گیری شده، کارایی مدل را به خوبی اثبات و صحت مدل ریاضی ارائه شده به وسیله روش RSM در فرمولاسیون بهینه پنیر را تأیید نمود (جدول۵).

- ریزساختار

تصاویر میکروسکوپ الکترونی، تفاوت ساختاری میان نمونه‌های پنیر را به خوبی به تصویر کشیده است (شکل ۴). همان‌گونه که در تصاویر مشاهده می‌گردد، در نمونه شاهد پرچرب، ساختار پروتئینی بازتر وضعیف‌تری مشاهده می‌گردد. در مقابل، کاهش محتوای چربی به گونه قابل توجهی موجب فشرده‌شدن ماتریس پروتئینی نمونه شاهد کم‌چرب گردید. همچنین، با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی ارائه شده، نمونه بهینه محتوی صمغ (محتوی ۱۰ درصد چربی، ۰/۲۰ درصد صمغ فارسی و ۰/۱۴ درصد صمغ بادام)، از ساختار بازتری نسبت به نمونه شاهد کم-چرب برخوردار بود.



شکل ٤- تصاویر دو بعدی نمونه بهینه (الف)، شاهد پرچرب (ب) و شاهد کم‌چرب (ج) پنیر فراپالوده با بزرگنمایی ۲۵۰۰ می‌باشد. در زیر تصاویر اصلی، تصاویر سه بعدی مربوط به آن آورده شده است.

بحث

- ویژگی‌های پروفیل بافت

سختی. کاهش محتوای چربی، به گونه‌ی چشمگیری ($p<۰/۰۱$) سختی نمونه‌های پنیر فراپالوده را افزایش داد. حضور چربی در نمونه‌های پنیر فراپالوده موجب شکستن ماتریس پروتئینی گشته و به عنوان نرم‌کننده بافت عمل می‌نماید (Sołowiej *et al.*, 2015). سختتر شدن پنیر به علت کاهش چربی را می‌توان به حضور مقادیر بالاتر پروتئین در نمونه‌های کم‌چرب نسبت داد (Salvatore *et al.*, 2014). همچنین، نتایج حاکی از آن بود که افزودن صمغ فارسی موجب نرم‌شدن معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) بافت پنیر گردید. یکی ازدلایل نرمی بافت در پی افزودن صمغ را می‌توان به میزان رطوبت نمونه‌های مختلف نسبت داد. جایی که افزایش صمغ فارسی به گونه چشمگیری ($p<۰/۰۱$) منجر به افزایش رطوبت پنیرهای فراپالوده شده است. این در حالیست که صمغ بادام از تأثیر معنی‌داری بر رطوبت و سختی نمونه‌ها برخوردار نمی‌باشد. در بین ۱۵ نمونه پنیر تولید شده، بیشترین مقدار رطوبت (۶۵/۵۴ درصد) در نمونه کم‌چرب (۳ درصد چربی) حاوی مقادیر بالای صمغ فارسی (۰/۲ درصد) و بادام (۰/۱ درصد) و کم-ترین آن (۶۳/۱۸ درصد) در پنیر نیم‌چرب (۱۰ درصد چربی) حاوی کم‌ترین میزان صمغ (۰/۱ درصد صمغ بادام و فاقد صمغ فارسی) مشاهده شد. در ماتریس کازئینی بافت پنیر، چربی و رطوبت به عنوان پرکننده عمل می‌کنند. به موازات کاهش چربی و غیبت گلبول‌های چربی در میان ذرات پروتئین، فشردگی بافت و اتصالات عرضی میان شبکه پروتئینی افزایش یافت. اما، در پی افزودن صمغ، به علت ویژگی آبدوستی صمغ‌های به کار برده شده در فرمولاسیون پنیر و افزایش رطوبت ناشی از حضور این صمغ‌ها، مولکول‌های آب تا حدودی جایگزین چربی کاهش یافته گردیده، میان ذرات پروتئین قرار گرفته و از فشردگی بیش از حد شبکه پروتئینی جلوگیری می‌کنند. علت دیگر کاهش سفتی بافت پنیر در نتیجه افزودن صمغ را می‌توان به برهمکنش صمغ‌ها با زنجیره پروتئینی نسبت داد (Akin & Kirmaci, 2015). این برهمکنش سبب کاهش اتصلات عرضی پروتئینی در ساختار پنیر شده و در پی آن ماتریس پروتئینی ضعیف‌تری ایجاد می‌گردد که سبب نرم‌تر شدن بافت پنیر می‌گردد. مطابق با این نتایج، قنبری شندی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مطالعه پنیر سفید ایرانی کم‌چرب محتوی صمغ زانتان دریافتند که

با افزودن این صمغ به پنیر، میزان کلسیم متصل به میسل‌های کازئین کاهش و در مقابل نیروی دافعه میان کازئین‌ها افزایش می‌یابد و این منجر به تضعیف پیوندهای ساختاری پنیر و افزایش نرمی بافت در حضور صمغ می‌گردد. پیش‌تر، Akin & Kirmaci (۲۰۱۵)؛ Koca & Metin (۲۰۰۴)؛ Kavas و همکاران (۲۰۰۴) و Rudan و همکاران (۱۹۹۹) نیز در مطالعه پنیر کم‌چرب محتوی جایگزین‌های مختلف چربی نتایج مشابهی را در رابطه با سختی نمونه‌های پنیر گزارش کرده‌اند.

چسبندگی. نتایج نشان داد که چسبندگی نمونه‌ها به طور معنی‌داری تحت تأثیر افزایش درصد چربی ($p<۰/۰۱$) و صمغ فارسی ($p<۰/۰۱$) قرار گرفت و با افزایش مقادیر صمغ و چربی میزان چسبندگی افزایش یافت. در این ارتباط لازم به ذکر است که با کاهش چربی، همان‌گونه که در قسمت‌های پیشین نیز ذکر آن رفت، بافت سختتری در نمونه‌های کم‌چرب فراپالوده مشاهده گردید. کاربرد صمغ به عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون پنیر از طریق کاهش اتصالات عرضی شبکه پروتئینی و افزایش رطوبت محبوس‌شده، بافت نرم‌تری را به ارمغان آورده که در نتیجه‌ی این موارد چسبندگی بافت افزایش یافت. اگرچه صمغ بادام از تأثیر معنی‌داری بر چسبندگی برخوردار نبود. Juan و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه پنیر کم‌چرب محتوی اینولین نتایج مشابهی را ارائه کردند و اظهار داشتند که پنیرهای با چربی بیشتر، ماتریس پروتئینی بازتری داشته و از بیشینه چسبندگی برخوردارند و با افزایش میزان اینولین چسبندگی نمونه‌ها افزایش یافت.

انسجام. افزایش محتوای چربی ($p<۰/۰۱$) و غلظت صمغ فارسی ($p<۰/۰۵$) موجب کاهش قابل توجه انسجام نمونه‌های پنیر فراپالوده گردید. هرچند که صمغ بادام موجب کاهش جزئی این پارامتر گردید، اما از تأثیر معنی‌داری در این زمینه برخوردار نبود. علت افزایش انسجام در نمونه‌های کم‌چرب فاقد صمغ را می‌توان به میزان بالای پروتئین نسبت داد. چرا که کاهش محتوای چربی با افزایش میزان پروتئین نمونه‌های پنیر همراه می‌باشد و در پی افزایش اتصالات عرضی انسجام و پیوستگی افزایش می‌یابد. در این ارتباط، Sahan و همکاران (۲۰۰۸) نیز در مطالعه پنیر کم‌چرب کشار مشاهده کردند که با کاهش میزان چربی انسجام نمونه‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافت. همان‌گونه که قبلاً اشاره گردید، علت تأثیر صمغ در کاهش انسجام پنیر را می‌توان به کاهش اتصالات عرضی پروتئینی در ساختار پنیر و در پی آن تشکیل ماتریس پروتئینی ضعیف نسبت داد. Akin & Kirmaci (۲۰۱۵) و Juan و همکاران (۲۰۱۳) نیز در این ارتباط نتایج مشابهی را ارائه نمودند.

خاصیت ارتجاعی. نتایج پژوهش جاری حاکی از آن بود که کاهش محتوای چربی سبب افزایش قابل توجه خاصیت ارتجاعی ($p<۰/۰۱$) نمونه‌های کم‌چرب گردید. درحالی که افزودن صمغ فارسی و بادام با کاهش چشمگیر خاصیت ارتجاعی نمونه‌های پنیر فراپالوده همراه بود. البته در این زمینه، صمغ فارسی از تأثیر پررنگ‌تری بر کاهش الاستیسیته برخوردار بوده ($p<۰/۰۵$) و صمغ بادام در این قسمت نیز تنها موجب بهبود جزئی این ویژگی گردید. مطابق با یافته‌های پژوهش جاری، Romeih و همکاران (۲۰۰۲) نیز در مطالعه پنیر سفید آب‌نمکی کم‌چرب دریافتند که کاربرد جایگزین‌های چربی به کار رفته موجب کاهش قابلیت ارتجاعی نمونه‌های کم‌چرب می‌گردد. از طرفی Juan و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده کردند که با کاهش محتوای چربی قابلیت ارتجاعی نمونه‌ها به گونه چشمگیری افزایش یافت. هرچند که کاربرد اینولین به عنوان جایگزین چربی در پژوهش آن‌ها موجب بهبود این ویژگی در پنیر گردید.

قابلیت جویدن و حالت صمغی. افزایش مقادیر چربی و غلظت صمغ فارسی، حالت صمغی و قابلیت جویدن نمونه‌ها را تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش این دو پارامتر در پنیر فراپالوده گردید. در پی کاهش چربی و افزایش سختی، باقت جویدنی‌تر شده و حالت نرمی و خامه‌ای خود را از دست می‌دهد که با افزودن جایگزین‌های چربی به کار رفته میزان پارامترهای مذکور کاهش یافته و این نقص در پنیر کم‌چرب بهبود یافت. هرچند که در این زمینه نیز، تنها صمغ فارسی از تأثیر معنی‌داری برخوردار بود. Juan و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعه پنیر کم‌چرب محتوی جایگزین چربی گزارش کردند که با کاهش چربی مقاومت به جویدن نمونه‌های پنیر به گونه چشمگیری افزایش می‌یابد. این در حالی است که Akin & Kirmaci

(۲۰۱۵) در بررسی پنیر کم‌چرب محتوی هیدروکلوئید بتاگلوکان به عنوان جایگزین چربی هیچگونه تفاوت معنی‌داری را میان نمونه‌ی پرچرب، کم‌چرب و نمونه محتوی جایگزین چربی از نقطه نظر پارامتر انسجام گزارش نکردند.

شایان ذکر است که بررسی ارزیابی حسی نمونه‌ها، صحت نتایج حاصل از آزمون‌های بافتی را تأیید نمود. عطر و طعم پنیر ناشی از محتوای چربی موجود در آن می‌باشد و کاهش محتوای چربی، منتج به ایجاد عیوبی چون از دست رفتن عطر و طعم، بافت ضعیف و در نهایت کاهش مقبولیت می‌گردد (Sadowska *et al.*, 2009). همان‌گونه که انتظار می‌رفت، کاهش میزان چربی موجب کاهش قابل توجه ($p<۰/۰۱$) نمره ارزیابی ویژگی رنگ و ظاهر، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها گردید. هرچند افزودن صمغ‌های یاد شده در فرمولاسیون پنیرهای سفید فراپالوده، تأثیر معنی‌داری بر ویژگی رنگ و ظاهر و عطر و طعم آنها نداشت اما افزایش غلظت صمغ فارسی در فرمولاسیون پنیرهای مذکور، منجر به افزایش چشمگیر ($p<۰/۰۵$) نمره ارزیابی بافت و پذیرش کلی گشت که این مطلب در قسمت بررسی‌های بافتی نمونه‌های کم‌چرب محتوی صمغ نیز به خوبی ملموس می‌باشد. در مقابل صمغ بادام هرچند موجب بهبود پارامترهای حسی یاد شده گردید، اما نتوانست تأثیر قابل توجهی را در این زمینه از خود بر جای نهد که مهر تأییدی بر نتایج آزمون‌های بافتی می‌باشد.

ریزساختار. با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی، ماتریس پروتئینی پنیر تحت تأثیر محتوای چربی قرار گفت و در نمونه شاهد پرچرب، ساختار پروتئینی بازتر وضعیف‌تری مشاهده گردید که در آن فضاهای خالی موجود در بافت به وسیله ذرات چربی اشغال گردیده بود. در مقابل، کاهش محتوای چربی به گونه قابل توجهی موجب فشرده‌شدن ماتریس پروتئینی نمونه شاهد کم‌چرب گردید. پیش‌تر، Bryant و همکاران (۱۹۹۵)؛ Sipahioglu و همکاران (۱۹۹۹) و Madadlou و همکاران (۲۰۰۷) نیز یافته‌های مشابهی را در این ارتباط ارائه کرده‌اند. از طرفی بررسی ریزساختار حاکی از آن بود که نمونه بهینه محتوی صمغ (۱۰ درصد چربی، ۰/۲۰ صمغ فارسی و ۰/۱۴ درصد صمغ بادام)، ساختار بازتری نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب داشت، چرا که فضاهای خالی کوچک موجود در آن، حاکی از ظرفیت بالای آبدوستی صمغ‌های یادشده و برهمکنش آن‌ها با ماتریس پروتئینی می‌باشد که منتج به ساختار بازتر نمونه بهینه گردیده است.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش جاری حاکی از آن بود که با استفاده از روش سطح پاسخ و به کارگیری غلظت‌های بهینه‌ی صمغ‌های فارسی و بادام در فرمولاسیون پنیر فراپالوده، می‌توان فرآورده‌ای کم‌چرب با ویژگی‌های بافتی مطلوب تولید نمود. نمونه کم‌چرب بهینه تولید شده حاوی صمغ از نقطه‌نظر برخی ویژگی‌های حسی و همچنین خصوصیات بافت و ریزساختار بطور قابل توجهی از مطلوبیت بیشتری نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب برخوردار بود. در نتیجه، با استفاده از صمغ‌های بومی می‌توان نواقص بافتی مربوط به کاهش چربی در تولید پنیر کم‌چرب را بهبود بخشید و فرآورده‌ای سلامت‌بخش با سطح کالری پایین تولید نمود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد و بدینوسیله نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان تشکر می‌نماید. همچنین از جناب آقای مهندس مصطفی گودرزی بابت همکاری در انجام این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

عباسی، س. و رحیمی، س. (۱۳۸۷). معرفی یک نوع صمغ گیاهی بومی ناشناخته: صمغ زدو. ماهنامه صنعت آرد و غذا. جلد ۴، شماره ۱۳، ص ۵۱–۴۶.

قنبری شندی، الف.، خسروشاهی اصل، الف.، مرتضوی، ع. و توکلی پور، ح. (۱۳۹۰). اثر صمغ زانتان بر ویژگی‌های بافتی و رئولوژیکی پنیر سفید ایرانی کم‌چرب. مجله علوم و صنایع غذایی، ۸ (۱): ۳۵–۴۵.

Akin, M. S. & Kirmaci, Z. (2015). Influence of fat replacers on the chemical, textural and sensory properties of low-fat Beyaz pickled cheese produced from ewe's milk. International Journal of Dairy Technology, 68(1), 127-134.

Boune, M. C. (1978). Texture profile analysis. Food Technology 32. 62–66.

Bryant, A., Ustunol, Z. & Steffe, J. (1995). Texture of Cheddar cheese as influenced by fat reduction. Journal of Food Science, 60(6), 1216-1219.

Bylund, G. (1995). Dairy processing handbook. Lund: Tetra Pak Processing Systems, 331-352.

Costa, N. E., O'Callaghan, D. J., Mateo, M. J., Chaurin, V., Castillo, M., Hannon, J. A. & Beresford, T. P. (2012). Influence of an exopolysaccharide produced by a starter on milk coagulation and curd syneresis. International Dairy Journal, 22(1), 48-57.

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.

Jooyandeh, H. (2009). Effect of addition of fermented whey protein concentrate on texture of Iranian white cheese. Journal of Texture Studies, 40, 497-510.

Juan, B., Zamora, A., Quintana, F., Guamis, B. & Trujillo, A. J. (2013). Effect of inulin addition on the sensorial properties of reduced-fat fresh cheese. International Journal of Dairy Technology, 66(4), 478-483.

Karami, M., Ehsani, M. R., Mousavi, S. M., Rezaei, K. & Safari, M. (2009). Microstructural properties of fat during the accelerated ripening of ultrafiltered-Feta cheese. Food Chemistry, 113(2), 424-434.

Kavas, G., Oysun, G., Kinik, O. & Uysal, H. (2004). Effect of some fat replacers on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese. Food chemistry, 88(3), 381-388.

Koca, N. & Metin, M. (2004). Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh kashar cheeses produced by using fat replacers. International Dairy Journal, 14(4), 365-373.

Madadlou, A., Mousavi, M. E. & Farmani, J. (2007). The influence of brine concentration on chemical composition and texture of Iranian white cheese. Journal of Food Engineering, 81(2), 330-335.

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.

Napier, K. (1997). Fat Replacers: The Cutting Edge of Cutting Calories. American Council on Science and Health, 1-29.

Oliveira, N. M., Dourado, F. Q., Peres, A. M., Silva, M. V., Maia, J. M. & Teixeira, J. A. (2011). Effect of guar gum on the physicochemical, thermal, rheological and textural properties of green edam cheese. Food and bioprocess technology, 4(8), 1414-1421.

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.

Romeih, E. A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G. & Zerfiridis, G. K. (2002). Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. International Dairy Journal, 12(6), 525-540.

Rudan, M. A., Barbano, D. M., Joseph Yun, J. & Kindstedt, P. S. (1999). Effect of fat reduction on chemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella cheese. Journal of Dairy Science, 82(4), 661-672.

Sadowska, J., Bialobrzewski, I., Jelinski, T. & Markowski, M. (2009). Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. Journal of food engineering, 94(3), 254-259.

Sahan, N., Yasar, K., Hayaloglu, A. A., Karaca, O. B. & Kaya, A. (2008). Influence of fat replacers on chemical composition, proteolysis, texture profiles, meltability and sensory properties of low-fat Kashar cheese. Journal of Dairy Research, 75(01), 1-7.

Salvatore, E., Pes, M., Mazzarello, V. & Pirisi, A. (2014). Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. International Dairy Journal, 34(1), 1-5.

Sipahioglu, O., Alvarez, V. B. & Solano-Lopez, C. (1999). Structure, physico-chemical and sensory properties of feta cheese made with tapioca starch and lecithin as fat mimetics. International Dairy Journal, 9(11), 783-789.

Sołowiej, B., Glibowski, P., Muszyński, S., Wydrych, J., Gawron, A. & Jeliński, T. (2015).

The effect of fat replacement by inulin on the physicochemical properties and microstructure of acid casein processed cheese analogues with added whey protein polymers. Food Hydrocolloids, 44, 1-11.