www.journals.rifst.ac.ir
نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۳۹۵، جلد ۵، شماره ۳، صفحات ۲۴۸-۲۳۵
Doi: 10.22101/JRIFST.2016.12.19.532

JRIFST

بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی سنتی محتوی صمغ‌های فارسی و بادام به‌عنوان جایگزین چربی با استفاده از روش سطح پاسخ

حدیث رستم‌آبادی[1]، حسین جوینده[2]*، محمد حجتی[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲- دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
* نویسنده مسئول (hosjooy@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۸

واژه‌های کلیدی
بافت
پنیر سفید ایرانی
ریزساختار
صمغ بادام
صمغ فارسی

چکیده

امروزه رایج‌ترین روش تولید پنیرهای کم‌چرب، استفاده از جایگزین‌های چربی است. کاربرد این مواد در تولید پنیر کم‌چرب باعث بهبود بافت و افزایش ویژگی‌های عملکردی و راندمان تولید پنیر می‌گردد. لازمهٔ دستیابی به فرمولاسیون پنیر کم‌چرب حاوی سطوح مناسب صمغ با ویژگی‌هایی مشابه با نمونهٔ پرچرب، انجام آزمون‌های فراوان می‌باشد که فرایندی هزینه‌بر و زمان‌بر است. روش سطح پاسخ (RSM) ابزاری مناسب جهت بهینه‌سازی فرمولاسیون فراورده‌های جدید می‌باشد. در این پژوهش، تأثیر افزودن صمغ‌های فارسی و بادام به‌عنوان جایگزین‌های چربی بر پنیر کم‌چرب جهت تعیین بهترین فرمولاسیون با ویژگی‌های بافتی مناسب بررسی گردید. بهینه‌سازی با استفاده از RSM و در قالب طرح سه متغیره در سه سطح انجام گرفت. متغیرهای مستقل فرایند شامل مقادیر چربی شیر (۱/۴-۰/۴ درصد)، صمغ فارسی (۰/۲-۰ درصد) و صمغ بادام (۰/۲-۰ درصد) و پاسخ‌ها شامل ویژگی‌های بافتی نمونه‌ها بودند. براساس نتایج بهینه‌سازی، نمونهٔ پنیر سفید سنتی محتوی ۰/۱۸ درصد صمغ فارسی، ۰/۱۳ درصد صمغ بادام و ۱/۴ درصد چربی از نقطه‌نظر پارامترهای بافت به‌عنوان نمونهٔ بهینه برگزیده شد. بررسی ریزساختار نیز نشان داد که نمونهٔ بهینه، همانند نمونهٔ شاهد پرچرب از ساختار بازتری نسبت به نمونهٔ شاهد کم‌چرب برخوردار بود.

مقدمه

طی سالهای اخیر، افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان به کاهش چربی رژیم غذایی، توجه بسیاری از محققین را به تولید فراورده‌های کم‌چرب معطوف کرده است (Katsiari *et al.*, 2002; Kavas *et al.*, 2004). درهرحال، کاهش چربی موجب بروز عیوبی چون کاهش عطر و طعم و ساختار نامناسب در پنیر می‌گردد (Sadowska *et al.*, 2009). یکی از معمول‌ترین روش‌های تولید پنیرهای کم‌چرب استفاده از جایگزین‌های چربی[1] است (Nateghi و همکاران، ۲۰۱۲). صمغ‌ها به دلیل افزایش جذب آب، جایگزین مناسبی برای چربی می‌باشند. اغلب در بدن متابولیزه نشده و کالری‌زا نمی‌باشند (Napier, 1997). صمغ فارسی یا صمغ زدو[2]، صمغ ترشحی شفافی است که از درخت بادام‌کوهی با نام *میگدالوس اسکوپاریا* اسپچ[3]، از خانوادهٔ گل‌سرخیان[4] به‌دست می‌آید. این صمغ

[1] Fat replaces
[2] Zedu gum
[3] *Amygdaluhs scoparia* Spach
[4] *Rosaceace*

قوام‌دهنده، امولسیفایر و پایدارکنندهٔ امولسیون می‌باشد (Abbasi & Mohammadi, 2013).

آلموند گام[1] یا صمغ بادام نیز از تنه، شاخه و میوه‌های درخت *پرونوس دولسیس*[2]، به‌دست می‌آید. این صمغ به‌طور عمده از ۹۲/۳۶ درصد پلی‌ساکارید (۴۶/۸۳ درصد آرابینوز، ۳۵/۴۹ درصد گالاکتوز، ۵/۹۷ درصد اورونیک‌اسید براساس وزن خشک)، ۲/۴۵ درصد پروتئین و ۰/۸۵ درصد چربی تشکیل شده است (Mahfoudhi *et al*., 2014). این صمغ، بی‌بو و بی‌مزه است و به راحتی در آب حل می‌شود (Mahfoudhi *et al*., 2012). صمغ بادام پایدارکنندهٔ کف بوده و از مقاومت حرارتی مناسبی برخوردار می‌باشد. این ویژگی امکان استفاده از آن را در فراورده‌هایی که در دماهای بالای فرایند، تولید می‌گردند را به‌خوبی میسر می‌سازد. همچنین، این صمغ استابیلایزر و امولسیفایر مناسبی بوده که به علت توانایی بالا در جذب آب، کاربرد آن در سسیتم‌های ژلی موفقیت‌آمیز می‌باشد (Rezaei *et al*., 2016). پژوهش‌های گسترده‌ای به‌منظور بررسی امکان تولید انواع پنیر کم‌چرب با استفاده از صمغ‌های گوناگون صورت پذیرفته است اما تاکنون از صمغ‌های فارسی و بادام به‌عنوان جایگزین چربی در تولید پنیر استفاده نشده است. طی پژوهشی، Ghasempour و همکاران (۲۰۱۲)، ویژگی‌های کیفی ماست پروبیوتیک محتوی صمغ فارسی را با استفاده از روش سطح پاسخ بهینه‌سازی نمودند. این محققین دریافتند که با استفاده از ۰/۱۳ درصد صمغ فارسی می‌توان ماست پروبیوتیکی با ویژگی‌های کیفی مطلوب تولید نمود. همچنین، نبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲)، عنوان داشتند که صمغ فارسی پایدارکنندهٔ مناسب دوغ بوده و از دوفازی نوشیدنی‌های لبنی جلوگیری می‌کند. زرین و همکاران (۱۳۹۳) نیز با استفاده از مخلوط صمغ فارسی (۰/۲۵ درصد) و ریزجلبک اسپیرولینا پلاتنسیس (۰/۱ درصد) ماست پروبیوتیکی با ویژگی حسی مطلوب و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی بالا تولید نمودند. در پژوهش دیگری Oliveira و همکاران (۲۰۱۱)، تأثیر صمغ گوار را بر ویژگی بافتی پنیر ادام سبز[3] کم‌چرب بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که رفتار رئولوژیکی پنیر محتوی صمغ گوار مشابه نمونهٔ شاهد پرچرب بود. همچنین Ghanbari و همکاران (۲۰۱۲)، از صمغ زانتان به‌منظور بهبود ویژگی‌های بافتی و رئولوژیکی پنیر سفید ایرانی کم‌چرب استفاده کردند. این محققین براساس یافته‌های خود، استفاده از صمغ زانتان را به‌عنوان یک جانشین مناسب چربی درجهت کاهش میزان انرژی‌زایی پنیر و همچنین به‌عنوان یک عامل بهبوددهندهٔ ویژگی‌های بافتی پنیر سفید کم‌چرب ایرانی توصیه کردند. در مطالعهٔ دیگری Rahimi و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر استفاده از غلظت‌های گوناگون صمغ کتیرا را به‌عنوان جانشین چربی بر بافت پنیر سفید ایرانی کم‌چرب در طول دورهٔ رسیدن مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمون‌ها نشان داد که غلظت بالای صمغ، سختی پنیر را به‌طور قابل توجهی کاهش داد.

تعیین بهترین سطوح صمغ در فرمولاسیون پنیر کم‌چرب تولیدی که بتواند ویژگی‌هایی مشابه با همتای پرچرب ایجاد نماید، انجام آزمون‌های فراوانی را ملزم نموده است. RSM[4] 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 به‌گونهٔ قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Goudarzi *et al*., 2015). چالش اصلی موجود در این مسیر، دستیابی به سطح بهینهٔ مورد نیاز از صمغ‌های بادام و فارسی و چربی برای تولید پنیری با ویژگی‌های مطلوب می‌باشد. براین‌اساس، هدف پژوهش جاری، بهینه‌سازی اجزای فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی کم‌چرب سنتی با استفاده از روش سطح پاسخ و درجهت تولید محصولی با ویژگی‌های بافت مشابه با همتای پرچرب آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

در این پژوهش از شیر خام تازه ۳/۲ درصد چربی (به‌منظور تهیهٔ شیر پس‌چرخ) و خامهٔ ۳۰ درصد چربی (جهت تنظیم درصد چربی شیر پس‌چرخ مورد

[1] Almond Gum
[2] *Prunus dulcis*
[3] Green Edam Cheese
[4] Response surface methodology

استفاده در تولید نمونه‌های پنیر) استفاده شد. جهت تهیهٔ پنیر سفید ایرانی سنتی از مایه‌کشت FRC- ۶۵ (شرکت کریستین هانسن[1]، دانمارک) حاوی گونه‌های *لاکتوکوکوس لاکتیس* زیرگونهٔ *کرموریس*، *لاکتوکوکوس لاکتیس* زیرگونهٔ *لاکتیس*، *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیرگونهٔ *بولگاریکوس* استفاده شد. به‌عنوان انعقادگر، رنت استاندارد کی‌مکس[2] (شرکت لبنی هانسن دانمارک) مورد استفاده قرار گرفت. صمغ فارسی از منطقهٔ خوزستان (شهر دزفول) و صمغ درخت بادام نیز از مناطق کوهستانی استان لرستان تهیه گردید. صمغ‌ها به‌وسیلهٔ اتانول ۹۶ درصد شسته شده و درون آون (مدل Heraeus، مدل UT ۵۰۴۲، آلمان) با دمای ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شدند. هر دو صمغ با آسیاب برقی (ناسیونال، ایران) پودر شده و جهت به‌دست آوردن ذرات با اندازهٔ یکنواخت از الک با مش ۳۵ و قطر ۰/۵ میلی‌متر عبور داده شدند. همچنین، تمامی محلول‌ها و مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش با درجهٔ خلوص بالا از شرکت مرک (دارمستادت[3]، آلمان) خریداری شدند.

روش‌ها

روند پنیرسازی

نمونه‌های پنیر سنتی با بهره‌گیری از روش Rahimi و همکاران (۲۰۰۷) در بخش پژوهش و توسعهٔ کارخانهٔ پگاه خوزستان تولید گردیدند. جهت تولید هر نمونه، مقدار ۸ کیلوگرم شیر پس‌چرخ استفاده گردید. جهت تهیهٔ نمونه‌های شاهد کم‌چرب و پرچرب (۳/۲ درصد چربی)، چربی شیر پس‌چرخ با استفاده از خامهٔ ۳۰ درصد چربی تنظیم گردید. سپس، مقادیر مناسب صمغ‌های فارسی و بادام براساس غلظت‌های تعریف‌شده در طرح آماری (جدول ۱) به آهستگی به شیر افزوده و به مدت ۲ دقیقه در ظروف استیل ضدزنگ توسط هم‌زن براون (مدل MR-540، آلمان) با دور توربو به‌خوبی هم‌زده شدند. پس از پاستوریزاسیون شیر در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۵ ثانیه، دمای آن به ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد رسانیده شد و در این دما کلرید کلسیم (مرک[4]، آلمان) به میزان ۰/۱۵ گرم به ازای هر کیلوگرم شیر اضافه گردید. سپس از پودر آغازگر به میزان ۰/۰۴ درصد تلقیح و به مدت ۵۵ دقیقه در دمای مذکور نگهداری شد تا فرصت کافی برای فعالیت آغازگرها قبل از افزودن رنت فراهم شود. پس از آن رنت به غلظت ۰/۰۲۵ گرم بر کیلوگرم شیر افزوده شد و به مدت زمان ۴۵ دقیقه برای تشکیل لخته به آن فرصت داده شد. لخته، پس از تشکیل به مکعب‌هایی به ابعاد ۱ سانتی‌متر بریده شده و پس از ۵ دقیقه دیگر، هم‌زده شد. پس از تخلیهٔ آب‌پنیر، لخته‌ها در قالب‌های مخصوص پرس ریخته شده و به مدت ۲/۵ ساعت (با فشار اولیه ۰/۳ کیلوپاسکال که در مدت یک ساعت به تدریج به ۲/۹ کیلوپاسکال افزایش می‌یافت) پرس شدند. در پایان، لختهٔ پرس‌شده به مکعب‌هایی به ابعاد ۴×۶×۶ سانتی‌متر برش زده شد و در دمای ۲±۲۴ درجهٔ‌سانتی‌گراد تا رسیدن pH نمونه‌ها به ۵/۱ نگهداری گردید. تکه‌های پنیر پس از این زمان در داخل ظروف پلاستیکی غیرقابل نفوذ به هوا قرار داده شدند و سطح آنها با آب‌نمک ۲۲ درصد به مدت ۱۶ ساعت پوشانیده شد. سپس، جایگزینی با آب‌نمک ۱۱ درصد انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که آب‌نمک مصرفی پیش‌تر در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه پاستوریزه گردید و پس از خنک کردن سریع استفاده شد. در پایان، بسته‌های حاوی پنیر دربندی شده و تا ۳ روز در دمای ۶-۵ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌های شاهد کم‌چرب و پرچرب نیز به همین روش، ولی بدون افزودن صمغ تولید گردیدند.

ویژگی‌های پروفایل بافت (TPA[5])

به‌منظور بررسی ویژگی‌های بافتی پنیر سفید ایرانی آزمون TPA با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری بافت[6] (Stable Micro System، مدل TA.XT.PLUS، TA.XT.PLUS، ساخت انگلستان) انجام پذیرفت. قبل از انجام آزمایش، نمونه‌های پنیر به ابعاد مساوی ۲×۳×۳ سانتی‌متر برش زده شدند و به مدت یک

[1] Christian Hansen
[2] Chy-Max
[3] Darmstadt
[4] Merck
[5] Texture profile analysis
[6] Texture Analyzer

ساعت در دمای محیط (۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد) برای رسیدن به دمای ثابت نگهداری گردیدند. در این آزمون، پروب آلومینیومی استوانه‌ای با قطر ۵ میلی‌متر و سرعت پیشانی و حرکت آزمون ۱ میلی‌متر بر ثانیه مورد استفاده قرار گرفت. در تمامی نمونه‌ها، پروب تا ۵۰ درصد از ارتفاع نمونه (۱ سانتی‌متر) پایین رفته و ویژگی‌های بافت نمونه‌های پنیر ازجمله سختی[1]، چسبندگی[2]، قابلیت جویدن[3]، حالت صمغی[4]، انسجام یا پیوستگی[5] و حالت ارتجاعی یا فنریت[6] مورد ارزیابی قرار گرفت (Jooyandeh, 2009).

ریزساختار

پس از انجام کلیهٔ آزمون‌ها و تعیین بهترین نمونهٔ کم‌چرب حاوی صمغ، ریزساختار نمونهٔ مذکور به همراه دو نمونهٔ شاهد پرچرب و کم‌چرب توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی[7] (SEM) با استفاده از روش Madadlou و همکاران (۲۰۰۷) بررسی گردید. نمونه‌ها به مدت ۶ دقیقه با استفاده از دستگاه اسپاترکوتر[8] (مدل A450X، شرکت EMITECH، ساخت انگلیس) طلاافشانی شدند. عکس نمونه‌ها با استفاده از SEM، (مدل-XMU VEGA\\TESCAN، شرکت TESCAN، ساخت جمهوری چک)، با جریان ۳ کیلوولت و با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ گرفته شد. به‌منظور بررسی بهتر تخلخل نمونه‌های پنیر، با استفاده از نرم‌افزار تحلیل‌گر تصاویر image J (ImageJ, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, Version 1.50i) تصویر دوبعدی نمونه‌ها در قسمت plug-in، " interactive 3D surface plot" به تصاویر سه‌بعدی تبدیل شد (Karami *et al*., 2009).

ارزیابی حسی

در این قسمت مهم‌ترین ویژگی‌های ارگانولپتیکی نمونه‌های پنیر سفید ایرانی سنتی شامل: رنگ و ظاهر، طعم و رایحه، قوام و بافت توسط ۱۰ ارزیاب نیمه‌حرفه‌ای آموزش‌دیده، ازطریق تست هدونیک ۹ نقطه‌ای مورد بررسی قرار گرفت (Goudarzi *et al*., 2015).

طرح آزمون و آنالیز آماری

بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی کم‌چرب، با استفاده از روش سطح پاسخ و به‌کارگیری طرح باکس‌بنکن[9] در قالب طرح سه متغیره در سه سطح انجام گرفت. متغیرهای فرایند شامل درصد چربی (۱/۴-۰/۴ درصد)، صمغ فارسی (۰/۲-۰ درصد) و صمغ بادام (۰/۲-۰ درصد) و پاسخ‌ها شامل ویژگی‌های بافتی و رطوبت نمونه‌های پنیر بودند (جدول۱).

جدول ۱- سطوح متغیرهای طرح باکس‌بنکن مورد استفاده برای بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیرهای سفید ایرانی کم‌چرب، به‌صورت کددار و غیرکددار

متغیرهای فرمولاسیون	سطوح		
	۱	۰	-۱
درصد صمغ فارسی (X_1)	۰/۲	۰/۱	۰
درصد صمغ بادام (X_2)	۰/۲	۰/۱	۰
درصد چربی (X_3)	۱/۴	۰/۹	۰/۴

سطوح هریک از متغیرها در جدول (۱) به‌صورت کددار مشخص شده است. یک مدل چندجمله‌ای درجهٔ دوم (رابطهٔ ۱) به داده‌های تجربی برازیده شد که Y پاسخ (میانگین خطای مطلق) و $\beta 0$، βi، βii و βij ضرایب رگرسیونی به ترتیب برای عرض از مبداء، خطی، درجهٔ دوم و برهم‌کنش‌ها بوده و Xi و Xj متغیرهای مستقل می‌باشند.

رابطهٔ (۱)

$$Y = \beta_\circ + \sum_{i=1}^{4} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{4} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=i+1}^{4} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon_{ij}$$

تحلیل سطح پاسخ و ترسیم نمودارها با استفاده از مینی‌تب نسخهٔ ۱۵/۱/۱/۰ (شرکت مینی‌تب، ایالات متحده امریکا) انجام شد و ترتیب استاندارد نمونه‌ها در جدول (۲) ارائه گردیده است. به‌منظور اعتبارسنجی مدل، نمونه‌های پنیر با فرمولاسیون بهینه تولید و پس از انجام آزمون‌ها در ۳ تکرار، مقادیر تجربی

[1] Hardness
[2] Adhesiveness
[3] Chewiness
[4] Gumminess
[5] Cohesiveness
[6] Springiness
[7] Scanning electron microscopy
[8] Sputter-coater
[9] Box-Behnken design

به‌دست‌آمده با مقادیر برآوردشده توسط آزمون T-test در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS (SPSS Inc.، ویرایش ۱۶) با یکدیگر مقایسه گردیدند.

جدول ۲ ـ نمایش طرح آزمون‌ها براساس طرح باکس‌بنکن با استفاده از سه متغیر

ترتیب استاندارد نمونه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
میزان چربی (٪)	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۹	۰/۴	۰/۴	۱/۴	۱/۴	۰/۴	۰/۴	۱/۴	۱/۴	۰/۹	۰/۹	۰/۹
صمغ بادام (٪)	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 فارسی (٪)	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

بحث و نتایج

ویژگی‌های پروفایل بافت (TPA)

سختی: TPA روشی است که عمل جویدن مادهٔ غذایی را در دهان تقلید می‌کند (Bourne, 1978). نتایج تحلیل آماری اثر غلظت‌های گوناگون چربی و صمغ‌های فارسی و بادام بر پارامتر سختی پنیر سفید ایرانی کم‌چرب در جدول (۳) ارائه شده است. سختی نمونه‌های پنیر براساس بیشینهٔ نیرو در گاز زدن اول تعریف می‌گردد و ازنظر حسی نیروی مورد نیاز جهت نفوذ دندان‌های آسیاب به درون نمونه می‌باشد (Bourne, 1978). همان‌طور که در جدول (۳) قابل مشاهده است، افزایش غلظت صمغ فارسی و یا محتوای چربی از تأثیر بسیار معنی‌داری (P<۰/۰۱) بر سختی پنیر برخوردار بود. این در حالی است که صمغ بادام (P<۰/۰۵) نیز به‌گونهٔ قابل‌توجهی موجب کاهش سختی نمونه‌های پنیر گردید. منفی‌بودن ضریب متغیرهای مستقل در بین اجزای فرمولاسیون (جدول ۳) نشان‌دهندهٔ این است که در راستای افزایش غلظت صمغ فارسی (P<۰/۰۱) و بادام (P<۰/۰۵)، به مراتب از میزان سختی بافت کاسته شده است که در کاربرد غلظت‌های بالای دو صمغ، این اثر چشمگیرتر می‌باشد (شکل ۱).

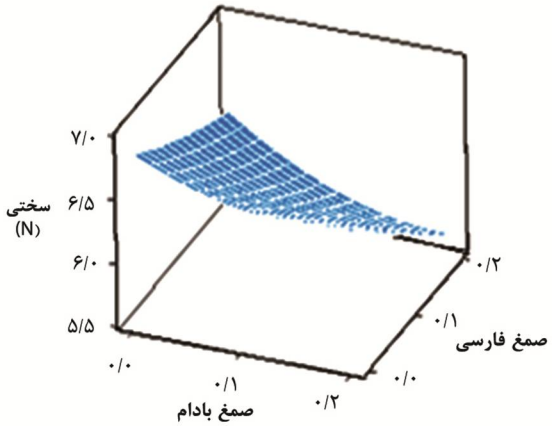
جدول ۳ - تجزیه واریانس (ANOVA) میانگین نتایج مربوط به تأثیر سطوح گوناگون چربی و صمغ‌های فارسی و بادام بر پارامترهای بافت پنیر سفید ایرانی کم‌چرب

Source	سختی (N)	چسبندگی (N.mm)	انسجام	خاصیت ارتجاعی (mm)	حالت صمغی (N)	قابلیت جویدن (N.mm)
Model-coefficient						
Intercept	۶/۱۴۴***	۱/۳۲۷***	۰/۳۸۰***	۱۱/۴۳۹***	۲/۳۳۵***	۲۶/۷۳۸***
X_1	-۰/۳۷۱**	۰/۱۹۵**	-۰/۰۱۷*	-۰/۲۸۸*	-۰/۲۴۲**	-۳/۵۷۰**
X_2	-۰/۲۲۰*	۰/۱۶۰*	-۰/۰۰۷	-۰/۰۷۳	-۰/۱۳۲*	-۱/۷۲۳
X_3	-۱/۱۶۲۸***	۰/۸۹۵***	-۰/۰۶۱***	-۰/۶۵۴***	-۰/۹۸۴***	-۱۳/۲۲۴***
$X_1. X_1$	۰/۰۳۷	۰/۰۹۹	۰/۰۰۵	۰/۱۴۶	۰/۰۵۴	۱/۱۶۲
$X_2. X_2$	۰/۱۴۹	-۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۱۵۶	۰/۰۵۹	۰/۹۱۲
$X_3. X_3$	۰/۵۶۲**	۰/۱۴۲	-۰/۰۳۵**	۰/۲۰۷	۰/۰۸۱	۲/۱۰۹
$X_1. X_2$	۰/۰۹۷	-۰/۰۵۵	۰/۰۰۲	۰/۱۹۹	-۰/۰۱۹	۰/۳۱۴
$X_1. X_3$	-۰/۰۰۸	۰/۲۶۱*	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۱	۰/۵۴۶
$X_2. X_3$	۰/۰۶۵	۰/۲۵۶*	-۰/۰۰۲	-۰/۰۸۶	۰/۰۳۹	۰/۳۲۳
R^2	۰/۹۸۸	۰/۹۸۹	۰/۹۶۹	۰/۹۳۳	۰/۹۷۹	۰/۹۸۶
R^2-adjust	۰/۹۶۷	۰/۹۶۹	۰/۹۱۳	۰/۸۱۳	۰/۹۴۲	۰/۹۶۳
***p*-value**						
Lack-of-Fit	۰/۸۱۶	۰/۹۰۴	۰/۳۵۵	۰/۶۰۱	۰/۴۵۶	۰/۶۷۵
Regression	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰
Linear	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Quadratic	۰/۰۲۹	۰/۲۱۳	۰/۰۳۵	۰/۳۳۲	۰/۵۹۴	۰/۲۶۹
Interaction	۰/۸۰۷	۰/۰۱۳	۰/۶۰۹	۰/۴۸۰	۰/۹۳۲	۰/۹۱۷

b-coefficient، ضریب هر متغیر در مدل توصیف‌کنندهٔ ویژگی‌های پنیر سفید ایرانی سنتی براساس اجزای فرمولاسیون آن می‌باشد. علامت مثبت X_1، X_2 و X_3 به ترتیب درصد صمغ فارسی، صمغ بادام و چربی هستند.

*** معنی‌داری در (P<۰/۰۰۱)، ** معنی‌داری در (P<۰/۰۱) و * معنی‌داری در (P<۰/۰۵).

این ضریب نشان‌دهندهٔ اثر افزایشی و علامت منفی نشان‌دهندهٔ اثر کاهشی آن متغیر در ارتباط با پاسخ مورد بررسی است.



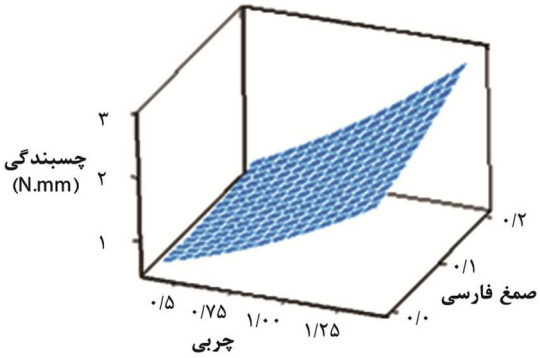
شکل ۱ - نمودار رویهٔ سه‌بعدی اثر متقابل صمغ‌های فارسی و بادام بر سختی پنیر سفید ایرانی سنتی کم‌چرب

Akin و Kirmaci (۲۰۱۵) و Salvatore و همکاران (۲۰۱۴) افزایش پروتئین حاصل از کاهش چربی را علت افزایش سختی در نمونه‌های کم‌چرب گزارش نمودند. حضور چربی در نمونه‌های پنیر موجب شکستن ماتریس پروتئینی گشته و به‌عنوان نرم‌کنندهٔ بافت عمل می‌نماید (Rudan *et al.*, 1999).

ازطرفی کاهش سفتی بافت پنیر درنتیجهٔ افزودن صمغ را می‌توان به برهم‌کنش صمغ‌ها با زنجیرهٔ پروتئینی نسبت داد. این برهمکنش سبب کاهش اتصالات عرضی پروتئینی در ساختار پنیر شده و در پی آن ماتریس ضعیف‌تری ایجاد می‌گردد که سبب نرم‌تر شدن بافت پنیر می‌گردد (Sołowiej *et al.*, 2015).

مطابق با این نتایج، Ghanbari و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعهٔ 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، Koca و Metin (۲۰۰۴)، Kavas و همکاران (۲۰۰۴) و Rudan و همکاران (۱۹۹۹) نیز در مطالعهٔ پنیر کم‌چرب نتایج مشابهی را در رابطه با سختی نمونه‌های پنیر گزارش کرده‌اند.

چسبندگی: مقدار نیروی مورد نیاز جهت جداسازی مواد غذایی از کام در حین خوردن غذا را چسبندگی گویند و به‌عبارتی، کار لازم برای غلبه بر نیروهای چسبندگی موجود میان سطح غذا و سطح سایر موادی است که غذا با آنها در تماس می‌باشد (Bourne, 1978). میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر افزایش درصد چربی، صمغ فارسی (P<۰/۰۱) و صمغ بادام (P<۰/۰۵) قرار گرفته و افزایش یافت (جدول ۳ و شکل ۲). Juan و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعهٔ پنیر کم‌چرب محتوی جایگزین چربی نتایج مشابهی را دراین‌رابطه ارائه نمودند. این محققین نیز اظهار نمودند که با افزایش جایگزین چربی به‌کاررفته میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر افزایش یافت. مقادیر ضریب تعیین یا R^2 و P پارامتر عدم تطابق[1] برای معادلهٔ پیش‌بینی سختی به ترتیب برابر ۰/۹۸۸ و ۰/۸۱۶ و برای معادلهٔ پیش‌بینی چسبندگی به ترتیب ۰/۹۸۹ و ۰/۹۶۹ بوده است که تأییدی بر مناسب بودن مدل محاسباتی محسوب می‌شود.



شکل ۲- نمودار رویهٔ سه‌بعدی اثر متقابل صمغ فارسی و چربی بر چسبندگی پنیر سفید ایرانی سنتی کم‌چرب

بنابراین باتوجه‌به نزدیک بودن ضریب تعیین به ۱ (جدول ۳)، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که معادلهٔ ریاضی ساخته‌شده بین پارامترهای بافتی و اجزای فرمولاسیون پنیر به خوبی توانسته است ارتباط بین متغیرهای مورد آزمون را نشان دهد.

انسجام: میزان انسجام نمونه‌های پنیر به‌طور معنی‌داری در اثر افزایش درصد چربی (P<۰/۰۱) و صمغ فارسی (P<۰/۰۵) کاهش یافت، اما صمغ بادام باوجود کاهش انسجام پنیر تأثیر معنی‌داری در این مورد نداشت (جدول ۳ و شکل ۳). انسجام هر مادهٔ غذایی با قدرت پیوندهای داخلی سازندهٔ پیکرهٔ آن در

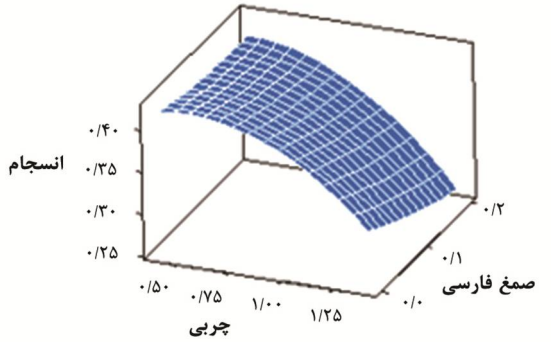
[1] Lack-of-Fit

ارتباط می‌باشد (Bourne, 1978). Sahan و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعهٔ پنیر کم‌چرب کشار[1] نتایج مشابهی را ارائه نمودند و علت افزایش انسجام در نمونه‌های کم‌چرب را به میزان بالای پروتئین در این نمونه‌ها نسبت دادند. Akin و Kirmaci (۲۰۱۵) و Juan و همکاران (۲۰۱۳) نیز به نتایج مشابهی را در رابطه با این پارامتر دست یافتند. علت تأثیر صمغ در کاهش انسجام پنیر را نیز می‌توان به کاهش اتصالات عرضی پروتئینی در ساختار پنیر و در پی آن تشکیل ماتریس پروتئینی ضعیف نسبت داد. مقادیر نزدیک به یک ضریب تعیین مبین این مهم است که تغییرات ویژگی انسجام پنیر تا حد بسیار بالایی به‌وسیلهٔ اجزای فرمولاسیون قابل توضیح است. ازسوی‌دیگر، معنی‌دار نبودن آماری ($P>۰/۰۵$) فاکتور عدم تطابق نشان‌دهندهٔ این است که مدل‌های موجود، مدل‌های مناسبی هستند و نیاز به یک مدل پیچیده‌تر برای توضیح دگرگونی‌های پارامترهای یادشده نمی‌باشد (Goudarzi *et al.*, 2012).

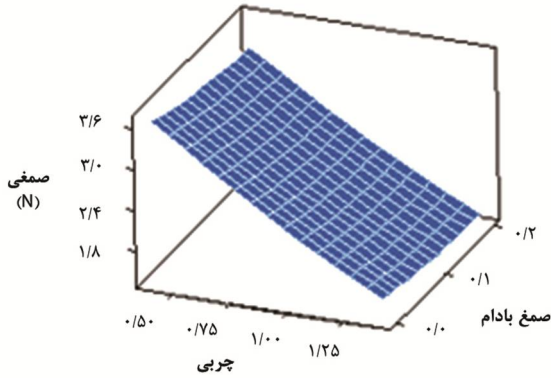
خاصیت ارتجاعی: خاصیت ارتجاعی یا فنریت براساس شدت بازگشت مادهٔ غذایی به حالت اولیه بعد از اعمال فشار جزئی به آن در دهان تعریف می‌گردد (Bourne, 1978). همان‌طور که در جدول (۳) می‌توان مشاهده کرد، افزایش محتوای چربی ($P<۰/۰۱$) و صمغ فارسی ($P<۰/۰۵$) در فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی به‌صورت بسیار معنی‌داری منتج به بهبود این ویژگی و کاهش ویژگی ارتجاعی پنیر حاصله گردید. درحالی‌که صمغ بادام از تأثیر معنی‌داری دراین‌رابطه برخوردار نبود. Romieh و همکاران (۲۰۰۲) نیز گزارش نمودند که کاربرد جایگزین‌های چربی تجاری در فرمولاسیون پنیر سفید آب‌نمکی کم‌چرب موجب کاهش قابلیت ارتجاعی نمونه‌های کم‌چرب گردید. ازسوی‌دیگر Juan و همکاران (۲۰۱۳) نیز مشاهده کردند که با کاهش محتوای چربی قابلیت ارتجاعی نمونه‌ها به‌گونهٔ چشمگیری افزایش یافت و کاربرد اینولین به‌عنوان جایگزین چربی در پژوهش این محققین موجب کاهش الاستیسیتهٔ پنیر گردید.

قابلیت جویدن و حالت صمغی: یافته‌های جدول (۳) و شکل (۴) نشان داد که افزایش درصد چربی ($P<۰/۰۱$) و صمغ فارسی ($P<۰/۰۵$) موجب کاهش قابل‌توجه مقاومت به جویدن و حالت صمغی نمونه‌های کم‌چرب گردید. افزودن صمغ بادام نیز موجب کاهش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) حالت صمغی پنیرهای تولیدی گردید (شکل ۴)، اما تأثیر معنی‌داری بر مقاومت به جویدن نمونه‌های کم‌چرب نداشت. این در حالی است که منفی بودن ضریب آن نشانگر اثر آن بر کاهش ($P<۰/۰۶۱$) پارامتر یادشده می‌باشد و از تأثیر آن چندان نمی‌توان بی‌تفاوت گذشت.

پیش‌تر، Juan و همکاران (۲۰۱۳) نیز در مطالعهٔ پنیر کم‌چرب یافته‌های مشابهی را ارائه نمودند. ازطرفی، Akin و Kirmaci (۲۰۱۵) در بررسی پنیر کم‌چرب محتوی هیدروکلوئید بتاگلوکان هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری را میان نمونهٔ پرچرب، کم‌چرب و نمونهٔ محتوی جایگزین چربی از نقطه نظر پارامتر انسجام مشاهده نکردند.



شکل ۳ - نمودار رویهٔ سه‌بعدی اثر متقابل صمغ فارسی و چربی بر انسجام پنیر سفید ایرانی سنتی کم‌چرب



شکل ۴ - نمودار رویهٔ سه‌بعدی اثر متقابل صمغ بادام و چربی بر حالت صمغی پنیر سفید ایرانی سنتی کم‌چرب

[1] Kashar

بهینه‌سازی و تأیید مدل

باتوجه‌به اینکه مهم‌ترین شاخص کیفی پنیر، بافت آن می‌باشد و این فاکتور نقش ویژه‌ای در پذیرش نهایی محصول توسط مصرف‌کننده ایفا می‌کند. بهینه‌سازی براساس مشابهت ویژگی نمونه‌ها به ویژگی‌های بافتی نمونهٔ پرچرب صورت پذیرفت (جدول ۴). روش سطح پاسخ نشان داد که با استفاده از غلظت بهینه ۱/۴ درصد چربی، ۰/۱۸ درصد صمغ فارسی و ۰/۱۳ درصد صمغ بادام در فرمولاسیون پنیر سفید سنتی کم‌چرب، می‌توان پنیری با ویژگی‌های بافتی قابل‌قبول تولید کرد. به‌منظور تأیید آماری صحت پیش‌گویی مدل‌های رگرسیونی، نمونهٔ بهینه با فرمولاسیون پیشنهادی تهیه گشته و پارامترهای یادشده با مقادیر پیش‌بینی‌شده به‌وسیلهٔ مدل‌های ریاضی، مقایسه گردیدند. نتیجهٔ تحلیل آماری نشان داد که بین مقادیر پیش‌بینی‌شده به‌وسیلهٔ مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده، در سطح معنی‌داری ۰/۰۵، اختلافی وجود ندارد که صحت مدل ریاضی ارائه‌شده به‌وسیلهٔ روش RSM در فرمولاسیون بهینه پنیر را تأیید می‌کند (جدول ۴).

جدول ۴ - جدول تأیید آماری مدل در پیش‌گویی مقادیر بهینه سطوح گوناگون چربی و صمغ‌های فارسی و بادام برای فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی کم‌چرب

پارامتر	فرمولاسیون بهینه			مقدار پیش‌بینی شده	مقدار به‌دست‌آمده[a]	میانگین خطای استاندارد	اختلاف میانگین	*P*-Value
	چربی (٪)	صمغ فارسی (٪)	صمغ بادام (٪)					
	۰/۱۳	۰/۱۸	۱/۴					
سختی (نیوتن)				۴/۷۲	۴/۰۳±۰/۳۷	۰/۲۱۶	-۰/۶۸۳	۰/۰۸۸
چسبندگی (نیوتن در میلی‌متر)				۲/۹۳	۳/۲۹±۰/۱۶	۰/۰۹۵	۰/۳۶۰	۰/۰۶۴
انسجام				۰/۲۶	۰/۵۹±۰/۱۴	۰/۰۸۰	۰/۳۳۰	۰/۰۵۵
قابلیت ارتجاعی (میلی‌متر)				۱۰/۸۶	۹/۶۶±۰/۵۲	۰/۳۰۰	-۱/۱۹۳	۰/۰۵۸
صمغی‌بودن (نیوتن)				۱/۲۳	۱/۰۲±۰/۰۸	۰/۰۵۱	-۰/۲۰۳	۰/۰۵۹
قابلیت جویدن (نیوتن در میلی‌متر)				۱۳/۶۲	۱۲/۴۲±۶۱	۰/۳۵۴	-۱/۱۹۶	۰/۰۷۸

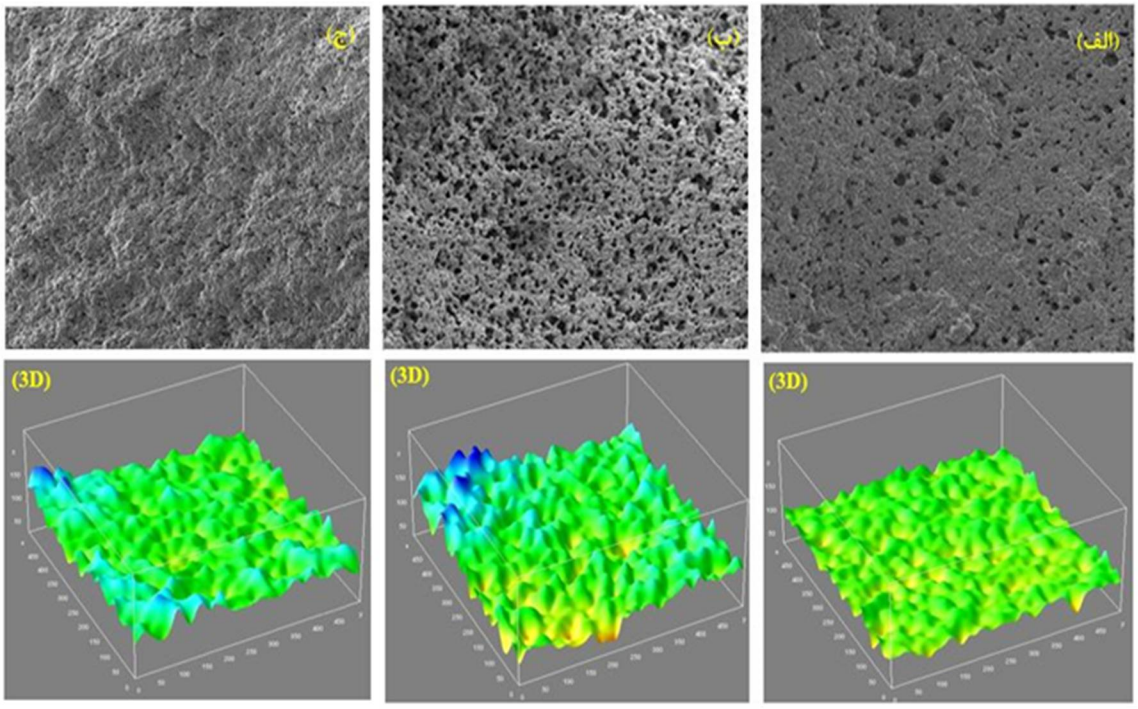
a مقادیر ارائه‌شدهٔ میانگین سه تکرار می‌باشد.

ریزساختار

تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های شاهد کم‌چرب، پرچرب و بهینه در شکل (۵) ارائه گردیده است. مطالعه‌ها نشان داده است که با کاهش محتوای چربی، پروتئین نقش پررنگ‌تری در ساختار پنیر ایفا می‌کند و در این حالت امکان ایجاد اتصالات عرضی میان پروتئین‌ها افزایش می‌یابد. درنتیجهٔ این عوامل، شبکهٔ پروتئینی پنیر متراکم‌تر گشته؛ زیرا گلبول‌های چربی کم‌تری میان ذرات پروتئینی قرار می‌گیرند (Zalazar *et al.*, 2002). ویژگی ساختاری هر نوع پنیر، منعکس‌کنندهٔ ویژگی بیوشیمیایی مربوط به آن می‌باشد. همان‌طور که در تصاویر نیز مشاهده می‌شود، نمونهٔ شاهد پرچرب در میان نمونه‌ها، ماتریس پروتئینی بازتری داشته و فضاهای خالی موجود در ساختار آن به وسیلهٔ گلبول‌های چربی اشغال گردیده است (Madadlou *et al.*, 2007). این در حالی است که نمونهٔ شاهد کم‌چرب نسبت به نمونهٔ پرچرب ساختار متفاوتی داشته و در پی کاهش محتوای چربی، ماتریس پروتئینی فشرده‌تری در آن مشاهده می‌شود. این مهم، دلیلی بر بافت سخت‌تر نمونهٔ شاهد کم‌چرب می‌باشد که در قسمت بررسی ویژگی‌های بافتی به تفصیل به آن اشاره گردید (جدول ۳). حضور صمغ‌ها در نمونهٔ بهینه منتج به مشابهت ساختار این نمونه به نمونهٔ شاهد پرچرب گردید که بررسی محتوای رطوبت نمونه‌های گوناگون پنیر، صحت این امر را تأیید می‌کند. چرا که، افزایش غلظت صمغ فارسی ($P<۰/۰۱$) و بادام ($P<۰/۰۵$)، به‌گونهٔ چشمگیری منجر به افزایش رطوبت پنیرهای سنتی شده است و کاهش محتوای چربی نیز، به‌طور قابل‌توجهی ($P<۰/۰۱$) با افزایش رطوبت نمونه‌های پنیر همراه بود. با افزایش غلظت صمغ فارسی و صمغ بادام، رطوبت نمونه‌های پنیر به‌گونه‌ای افزایش یافت

که پنیر کم‌چرب حاوی بیشینهٔ صمغ بادام و فارسی، مرطوبت‌ترین نمونه بود (۷۳/۱۶ درصد رطوبت)، درحالی‌که کم‌ترین میزان رطوبت در پنیر پرچرب محتوی کم‌ترین میزان صمغ مشاهده شد (۵۸/۱۰ درصد رطوبت).

به‌علاوه، برهم‌کنش جایگزین‌های چربی در نمونهٔ بهینه منجر به کاهش اتصلات عرضی ماتریس پروتئینی و تضعیف آن گشته و در پی آن بافت نرم گردید. Rahimi و همکاران (۲۰۰۷) نیز در مطالعهٔ پنیر کم‌چرب محتوی صمغ تراگاکانت گزارش کردند که با افزودن صمغ به پنیر، هیدرولیز شبکهٔ پروتئینی افزایش یافت و انتشار پپتیدهای کوچک و آمینواسیدهای آزاد به درون آب‌نمک اطراف آن، منجر به ریزساختار متفاوت آن نسبت به نمونهٔ کم‌چرب گردید. Salvatore و همکاران (۲۰۱۴)، Rahimi و همکاران (۲۰۰۷)، و Bryant و همکاران (۱۹۹۵) نیز یافته‌های مشابهی را در رابطه با ایجاد ساختار بازتر ماتریس پروتئینی درنتیجهٔ استفاده از صمغ ارائه کردند.



شکل ۵ - تصاویر SEM نمونه‌های بهینه (الف)، شاهد پرچرب(ب)، شاهد کم‌چرب (ج) پنیر سفید ایرانی با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ می‌باشد. در زیر تصاویر دوبعدی، تصاویر سه‌بعدی مربوط به هر شکل آورده شده است.

ارزیابی حسی

نتایج تحلیل آماری داده‌های حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های پنیر سنتی تولیدشده از فرمول‌بندی‌های گوناگون صمغ فارسی، صمغ بادام و سطوح گوناگون چربی در جدول (۵) آورده شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، کاهش میزان چربی موجب کاهش قابل‌توجه (P<۰/۰۱) نمرهٔ ارزیابی تمامی ویژگی‌های ارگانولپتیکی نمونه‌ها گردید (جدول ۵). رطوبت بیش از حد موجود در پنیرهای کم‌چرب را می‌توان دلیلی بر کاهش مقبولیت ویژگی‌های ارگانولپتیکی این نمونه‌ها دانست (Sipahioglu *et al*., 1999). عطر و طعم پنیر ناشی از محتوای چربی موجود در آن می‌باشد و با کاهش چربی، نمرهٔ ارزیابی نمونه‌های کم‌چرب نیز کاهش یافت. داده‌های جدول (۵) حکایت از آن دارند که تغییر غلظت صمغ‌های یادشده در فرمولاسیون پنیرهای سفید سنتی، تأثیر معنی‌داری بر رنگ و ظاهر و عطر و طعم آنها نداشته است. اگرچه، افزایش غلظت صمغ‌های فارسی و بادام در فرمولاسیون پنیرهای مذکور، منجر به افزایش چشمگیر (P<۰/۰۵) نمرهٔ ارزیابی بافت گردید.

جدول ۵- تجزیه واریانس (ANOVA) میانگین نتایج مربوط به تأثیر سطوح مختلف چربی و صمغ‌های فارسی و بادام بر ویژگی‌های ارگانولپتیکی پنیر سفید سنتی کم‌چرب

Source	DF	Sums of Squares				Mean Square				*F*-value				*P*-value			
		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Regression	۹	۲۹/۵۱۹	۶۸۰۲۶	۴۰/۲۰۹	۲۹/۱۲۴	۳/۲۷۹	۲/۹۶۴	۴/۴۶۷	۳/۲۳۶	۵/۸۸	۴۵/۶۱	۲۱/۷۳	۷۵/۲۷	۰/۰۳۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
Linear	۳	۲۰/۴۶۰	۲۵/۵۰۸	۳۴/۱۹۱	۲۶/۴۴۹	۶/۸۲۰	۸/۵۰۲	۱۱/۳۹۷	۸/۸۱۶	۱۲/۲۳	۱۳۰/۸۳	۵۵/۴۴	۲۰۵/۰۷	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Quadratic	۳	۲/۰۸۸	۰/۷۸۰	۳/۲۳۳	۱/۰۵۵	۰/۶۹۶	۰/۲۶۰	۱/۰۷۷	۰/۳۵۱	۱/۲۵	۴/۰۰	۵/۲۴	۸/۱۹	۰/۳۸۵	۰/۰۸۵	۰/۰۵۳	۰/۰۲۲
Interaction	۳	۶/۹۷۰	۰/۳۹۱	۲/۷۸۵	۱/۶۱۹	۲/۳۲۳	۰/۱۳۰	۰/۹۲۸	۰/۵۳۹	۴/۱۷	۲/۰۱	۴/۵۲	۱۲/۵۶	۰/۰۷۹	۰/۲۳۲	۰/۰۶۹	۰/۰۰۹
Residual error	۵	۲/۷۸۸	۰/۳۲۴	۱/۰۲۷	۰/۲۱۵	۰/۵۵۷	۰/۰۶۵	۰/۲۰۵	۰/۰۴۳								
Lack-of-fit	۳	۲/۶۸۳	۰/۰۷۱	۰/۷۲۶	۰/۱۹۲	۰/۸۹۴	۰/۰۲۴	۰/۲۴۲	۰/۰۶۴	۱۷/۰۴	۰/۱۹	۱/۶۰	۵/۷۵	۰/۰۵۶	۰/۸۹۶	۰/۴۰۶	۰/۱۵۲
Pure Error	۲	۰/۱۰۵	۰/۲۵۳	۰/۳۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۵۲	۰/۱۲۶	۰/۱۵۰	۰/۰۱۱								
Total	۱۴	۳۲/۳۰۷	۲۷/۰۰۴	۴۱/۲۳۷	۲۹/۳۳۹												

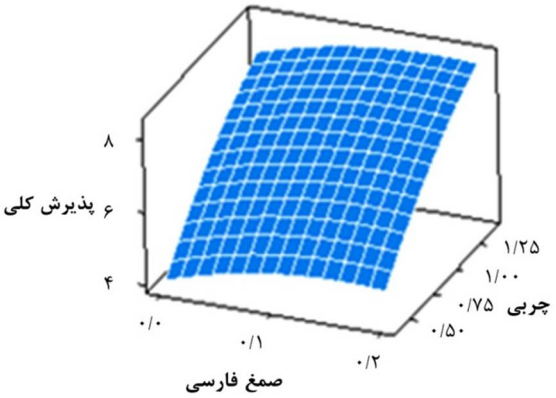
Other statistics	Y_1		Y_2		Y_3		Y_4	
Source	*b*-coefficient	*p*-value	*b*-coefficient	*p*-value	*b*-coefficient	*p*-value	*b*-coefficient	*p*-value
Intercept	۶/۷۰۰	۰/۰۰۰	۶/۷۳	۰/۰۰۰	۷/۱۶۶	۰/۰۰۰	۶/۸۴۱	۰/۰۰۰
X_1	۰/۴۸۱	۰/۱۲۸	۰/۱۹۳	۰/۰۸۴	۰/۵۷۵	۰/۰۱۶	۰/۳۶۵	۰/۰۰۴
X_2	۰/۰۱۸	۰/۹۴۶	۰/۱۵۰	۰/۱۵۷	۰/۴۸۷	۰/۰۲۹	۰/۲۲۵	۰/۰۲۸
X_3	۱/۵۲۵	۰/۰۰۲	۱/۷۶۸	۰/۰۰۰	۱/۹۲۵	۰/۰۰۰	۱/۷۶۶	۰/۰۰۰
$X_1 . X_1$	-۰/۵۵۶	۰/۲۱۲	-۰/۱۳۹	۰/۳۴۲	-۰/۴۴۵	۰/۱۱۷	-۰/۳۱۴	۰/۰۳۳
$X_2 . X_2$	-۰/۳۸۱	۰/۳۷۲	-۰/۱۲۶	۰/۳۸۴	-۰/۴۹۵	۰/۰۵۳	-۰/۳۱۸	۰/۰۳۲
$X_3 . X_3$	۰/۳۰۶	۰/۴۶۶	-۰/۴۳۹	۰/۰۲۱	-۰/۶۷۰	۰/۰۳۶	-۰/۳۵۹	۰/۰۲۱
$X_1 . X_2$	-۱/۲۸۷	۰/۰۱۸	۰/۲۶۱	۰/۰۹۵	-۰/۸۲۵	۰/۰۱۵	-۰/۶۳۶	۰/۰۰۲
$X_1 . X_3$	-۰/۱۵۰	۰/۷۰۴	۰/۱۰۰	۰/۴۶۸	-۰/۰۷۵	۰/۷۵۴	-۰/۰۰۲	۰/۹۸۲
$X_2 . X_3$	-۰/۲۵۰	۰/۵۳۳	۰/۱۳۷	۰/۳۳۰	-۰/۱۰۰	۰/۶۷۸	-۰/۰۱۱	۰/۹۱۸
R^2	۰/۹۱۳		۰/۹۸۸		۰/۹۷۵		۰/۹۹۲	
R^2-adjust	۰/۷۵۸		۰/۹۶۶		۰/۹۳۰		۰/۹۷۹	

X_1، X_2 و X_3 به ترتیب درصد صمغ فارسی، صمغ بادام و چربی هستند.

Y_1، Y_2، Y3 و Y4 به ترتیب رنگ و ظاهر، عطر و طعم، بافت و پذیرش کلی هستند.

درمورد آثار هیدروکلوئیدهای به‌کاررفته، همان‌گونه که از تصویر سه‌بعدی (۶) و جدول (۵) نیز پیداست، متغیرها از روندی خطی پیروی کردند و به موازات افزایش پارامترهای مستقل به‌کاررفته، متغیرهای مورد بررسی از روند افزایشی برخوردار بودند، این در حالی بود که صمغ فارسی ($P<۰/۰۱$) نسبت به صمغ بادام ($P<۰/۰۵$) امتیاز بیشتری را به خود اختصاص داد و مورد پسندتر واقع گردید (جدول ۵).

همان‌طور که در شکل (۶) نیز مشاهده می‌گردد، افزایش غلظت صمغ فارسی در فرمولاسیون پنیرهای مذکور، منجر به افزایش چشمگیر نمره پذیرش کلی شد که این مطلب در قسمت بررسی‌های بافتی نمونه‌های کم‌چرب محتوی صمغ نیز به‌خوبی ملموس بوده و صحت نتایج را تأیید می‌نماید (جدول ۳).



شکل ۶ - نمودار رویهٔ سه‌بعدی اثر متقابل صمغ فارسی و چربی بر پذیرش کلی پنیر سفید ایرانی سنتی کم‌چرب

باتوجه‌به طرح آماری به‌کاررفته جهت توصیف اثر صمغ‌های به‌کاررفته و سطوح چربی و نیز باتوجه‌به رابطهٔ خطی موجود میان متغیرها، شاخص‌های عدم تناسب، ضریب تبیین و ضریب تبیین تعدیل‌شده به‌منظور کفایت مدل محاسبه شد. *b*-coefficient نیز، ضریب هر متغیر در مدل توصیف‌کننده ویژگی‌های پنیر سفید ایرانی براساس اجزای فرمولاسیون آن را نشان می‌دهد که علامت مثبت این ضریب نشان‌دهندهٔ اثر افزایشی و علامت منفی نشان‌دهنده اثر کاهشی آن متغیر در رابطه با پاسخ مورد بررسی است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از روش سطح پاسخ و به‌کارگیری غلظت‌های بهینهٔ صمغ‌های فارسی و بادام در فرمولاسیون پنیر تولیدی، فراورده‌ای کم‌چرب با ویژگی‌های مطلوب تولید شد که از نقطه‌نظر ویژگی‌های بافتی از مشابهت فراوانی نسبت به نمونهٔ شاهد پرچرب برخوردار بود. در نتیجه، نواقص بافتی مربوط به کاهش چربی در تولید پنیر کم‌چرب بهبود یافت و فراورده‌ای سلامت‌بخش با سطح کالری پایین تولید گردید.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان انجام شده است و بدین‌وسیله نویسندگان مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

منابع

۱- زرین، ر.، قاسم‌پور، ز.، رضازاد، م.ب.، علیزاده، م. و مقدس‌کیا، الف. ۱۳۹۳. بررسی اثرات ریزجلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و صمغ زدو در ماست پروبیوتیک. نشریهٔ پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۳(۳):۱۹۷-۲۱۰.

۲- نبی‌زاده، ف.، خسروشاهی اصل، ا. و زمردی، ش. ۱۳۹۲. مطالعهٔ استفاده از پرمیات حاصل از تغلیظ شیر به روش اولترافیلتراسیون و صمغ زدو بر ویژگی‌های کیفی دوغ. نشریهٔ پژوهش‌های صنایع غذایی ایران. ۲۳(۴):۵۶۷-۵۸۰.

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

4- 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.

5- Bourne, M. 1978. Texture profile analysis. Food Technology, 32:62-66.

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

7- Ghanbari, S.E., Khosroshahi, A.A., Mortazavi, A., & Tavakolipour, H. 2012. Effect of xanthan gum on textual and rheological properties of Iranian low–fat white cheese. Iranian Journal of food Science and Technology, 8(33):35-45.

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

9- 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.

10- Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M.E., & Emam-Djomeh, Z. 2012. Optimized preparation of ACE-inhibitory and antioxidative whey protein hydrolysate using response surface method. Dairy Science and Technology, 92(6):641-653.

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

12- 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.

13- 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.

14- Katsiari, M.C., Voutsinas, L.P., Kondyli, E., & Alichanidis, E. 2002. Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture. Food Chemistry, 79(2):193-198.

15- 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.

16- 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.

17- 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.

18- 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.

19- 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.

20- Napier, K. 1997. Fat Replacers: The Cutting Edge of Cutting Calories. American Council on Science and Health, Inc., Report No. 06500, Available at http://www.acsh.org/wp-content/uploads/2012/04/20040402_ Fat_Replacers1997.pdf.

21- Nateghi, L., Roohinejad, S., Totosaus, A., Mirhosseini, H., Shuhaimi, M., & Manap, M.Y.A. 2012. Optimization of textural properties and formulation of reduced fat Cheddar cheeses containing fat replacers. Journal of Food, Agriculture and Environment, 10(2):46-54.

22- 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 Bioprocess Technology, 4:1414-1421.

23- 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.

24- Rezaei, A., Nasirpour, A., & Tavanai, H. 2016. Fractionation and some physicochemical properties of almond gum (*Amygdalus communis* L.) exudates. Food Hydrocolloids, 60: 461-469.

25- 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.

26- Rudan, M.A., Barbano, D.M., Joseph, Y., & 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.

27- Sadowska, J., Białobrzewski, I., Jeliński, 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.

28- 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.

29- 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.

30- 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.

31- 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.

32- Zalazar, C.A., Zalazar, C.S., Bernal, S., Bertola, N., Bevilacqua, A., & Zaritzky, N. 2002. Effect of moisture level and fat replacer on physicochemical, rheological and sensory properties of low fat soft cheeses. International Dairy Journal, 12(1):45-50.

Optimization of Iranian Low-Fat Cheese With Addition of Persian and Almond Gums as Fat Replacers by Response Surface Methodology

Hadis Rostamabadi[1], Hossein Jooyandeh[2*], Mohammad Hojjati[2]

1- Master Student of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
2- Associate professor of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Iran
* Corresponding author (hosjooy@yahoo.com)

Abstract

Nowadays, using the fat replacers is a common method to produce low-fat cheeses. Employing these ingredients improves the texture, yield and functional characteristics of these products. To achieve the low-fat cheese formulation with desired gum concentration that resembles to its full-fat characteristics a lot of experiments is required. Therefore, this technique is a costly and time consuming process. Response Surface Methodology (RSM) is an appropriate approach to optimize formulation of new products. The effects of addition of Persian and almond gums as fat replacers on traditional Iranian white cheese were investigated and the best low-fat cheese formulation with favorable texture characteristics was obtained. The experiments were designed according to 3-level-3-factor box-Behnken design through RSM. The independent variables were including Persian gum (0-0.2%), almond gum (0-0.2%) and milk fat content (0.4-1.4%) and the responses were textural characteristics of cheeses. A predicted optimum formulation was gained with 1.4% milk fat, 0.18% Persian gum and 0.13% almond gum. Microstructure analysis of cheeses showed that the traditional low-fat Iranian-white cheese with optimum formulation like full-fat cheese sample had a more open structure in comparison with low-fat control.

Keywords: Almond gum, Iranian white cheese, Microstructure, Persian gum, Texture