مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال سوم، شماره۳، پاییز ۱۳۸۷ ، صفحات ۱۰-۱

بررسی امکان تولید پنیر سفید ایرانی کم‌چربی و بهینه‌سازی ویژگی‌های آن با استفاده از صمغ عربی و گوار

حنان لشگری[۱]، اصغر خسروشاهی اصل[۲]، حجتا... گلکاری[۳]، رقیه اشرفی یورقانلو[۴]، مریم ظهری[۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۲- نویسنده مسئول: استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، پست الکترونیکی:a.khosrowshahi@mail.urmia.ac.ir
۳- مربی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد داراب
۴- کارشناس گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۵- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

تاریخ دریافت: ۸۷/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۸۷/۶/۱۷

چکیده

سابقه و هدف: شواهد و یافته‌های علمی نشان داده‌اند که بین مصرف زیاد چربی و بیماری‌هایی مانند چاقی مفرط، سخت شدن دیوارهٔ رگ‌ها، افزایش فشار خون و بیماری‌های قلبی عروقی ارتباط نزدیکی وجود دارد. در پی این مسئله و افزایش آگاهی مردم نسبت به مصرف چربی، افزایش چشمگیری در تقاضای محصولات غذایی کم‌چرب به وجود آمده است. در حال حاضر، محصولات لبنی کم‌چرب دارای طیف وسیعی هستند و مصرف پنیر های کم‌چرب و بدون چربی رو به افزیش است. از آنجا که پنیر سفید ایرانی، با ۱۸ تا ۲۰٪ چربی نقش مهمی در رژیم غذایی مردم کشورمان دارد، در این تحقیق از ۲ هیدروکلوئید صمغ گوار (Guar gum) و صمغ عربی (Gum Arabic) به عنوان جایگزین چربی استفاده شد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های پنیر سفید ایرانی کم‌چرب به روش صنعتی در مقیاس کوچک از شیر گاو تهیه شد. اثر چهار غلظت صمغ گوار (۳۰۰ppm، ۱۵۰، ۷۵، ۰) و سه غلظت صمغ عربی (۳۰۰PPM، ۱۵۰، ۰) در سه سطح مختلف چربی (۱/۴، ۰/۹ و ۰/۴ درصد) از طریق اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف شیمیایی و رئولوژیکی با استفاده از طرح آماری سطحِ پاسخ، بررسی شد.

یافته‌ها: اثر کاهش چربی و استفاده از دو هیدروکلوئید (صمغ عربی و صمغ گوار) روی ویژگی‌های پنیر به وسیله نمودارهای سطح پاسخ و کنتر پلات ارزیابی شد و برای هر پاسخ مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم به دست آمد. در نهایت، بر اساس ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر سفید ایرانی، نقاط بهینهٔ تولید پنیر سفید ایرانی کم‌چرب تعیین شدند.

نتیجه‌گیری: صمغ عربی در غلظت‌های بالاتر ازppm ۱۵۰ باعث افزایش در مدول ذخیره (G') شد و به دنبال آن، سختی نامناسبی در بافت پنیر ایجاد کرد؛ ولی با افزایش غلظت صمغ گوار، دو ویژگی رئولوژیکی، تنش در نقطه شکست (σ_f) و مدول ذخیره (G') که بالا بودن آنها بیانگر سفتی بافت است، کاهش یافتند و بافت، بهبود یافت. با استفاده از بعضی هیدروکلوئیدها مانند صمغ گوار، به عنوان جایگزین چربی، می‌توان معایب مربوط به بافت پنیر کم‌چرب را برطرف کرد.

واژگان کلیدی: پنیر سفید ایرانی کم‌چرب، جایگزین‌های چربی، صمغ گوار، صمغ عربی، رئولوژی

• مقدمه

شواهد و یافته‌های علمی، حاکی از ارتباط مصرف زیاد چربی و افزایش خطر ابتلا به برخی بیماری‌ها هستند. مثل چاقی مفرط (obesity)، سخت شدن دیواره رگ‌ها (atherosclerosis)، بیماری‌های قلبی عروقی (coronary heart disease)، افزایش فشار خون، آسیب‌های بافتی و انواع مشخصی از سرطان. در پی این مسئله و افزایش آگاهی مردم نسبت به مصرف چربی، افزایش چشم‌گیری در تقاضای محصولات غذایی کم‌چرب از جمله پنیرهای کم‌چرب به وجود آمد (۱۰، ۹). چربی پنیر نه تنها دارای نقش تغذیه‌ای است، بلکه نقش مهمی

Archive of SID
www.SID.ir

در بهبود بافت و ظاهر آن دارد. پنیرهای کم‌چرب، معایبی مثل بافت سفت و لاستیکی، رنگ و طعم نامطلوب و ذوب‌پذیری ضعیف هستند (۱۵). در اثر کاهش میزان چربی، شبکه پروتئینی پنیر، فشرده‌تر و متراکم‌تر می‌شود و بافت پنیر، جویدنی می‌شود (۱۸، ۱۱).

از این رو، شیوه‌های جدیدی برای تولید پنیرهای کم‌چرب با ویژگی‌های مشابه پنیر پرچرب ابداع شد، که برخی از آنها عبارتند از: تغییر روش‌های معمولی فرایند تولید، انتخاب کشت‌های استارتر و کشت‌های کمکی و استفاده از جایگزین‌های چربی (۱۵، ۹، ۶). مهم‌ترین شیوه برای بهبود ویژگی‌های عملکردی و بافتی پنیر کم‌چرب در مطالعات مختلف، استفاده از جایگزین‌های چربی ذکر شده است (۱۱). جایگزین‌های چربی محلول در آب و قطبی به دلیل محبوس کردن آب به صورت مکانیکی و خاصیت آب‌دوستی بالای آنها بیشتر توصیه شده‌اند. در نتیجهٔ استفاده از آنها، یک حس لغزندگی (lubricity) و خامه‌ای (creaminess) در پنیر ایجاد می‌شود (۱۸، ۱۷، ۱۴).

Volikakis و همکاران در سال ۲۰۰۴ از کنسانتره βگلوکان یولاف به عنوان جایگزین چربی استفاده کردند و توانستند همهٔ شاخص‌های بافتی پنیر کم‌چرب آب نمکی را اصلاح کنند؛ ولی βگلوکان بر خواص ظاهری و طعمی پنیر، اثر منفی داشت (۲۳). *Lobat-calleras* و همکاران در سال ۲۰۰۶ از امولسیون مرکبی که با هیدروکلوئیدهای مختلف از جمله پکتین، کربوکسی‌متیل‌سلولز و صمغ عربی، پایدار شده بود، استفاده کردند. در مطالعه آنها پنیر حاوی کربوکسی‌متیل‌سلولز، خواص بافتی و رئولوژیکی مشابهی با پنیر سفید پرچرب از خود نشان داد (۱۲).

پنیر سفید ایرانی، نقش مهمی در رژیم غذایی مردم کشورمان دارد. این پنیر یکی از پنیرهای نرم است که در آب نمک می‌رسد و دورهٔ رسیدن آن در مقیاس صنعتی در حدود ۴۵ تا ۹۰ روز است. ویژگی طعمی آن، اسیدی و نمکی بودن است و ۱۸ تا ۲۰ درصد چربی دارد (۶، ۳، ۱). رحیمی و همکاران در سال ۲۰۰۷ از صمغ تراگاگانت (Tragacant) کتیرا به عنوان جایگزین چربی در نوع کم‌چرب این پنیر استفاده کردند و توانستند پارامترهای سختی بافت را کاهش دهند و تا اندازه‌ای بافت آن را بهبود بخشند (۱۶).

در این تحقیق، از دو نوع هیدروکلوئید، صمغ عربی و صمغ گوار به عنوان جایگزین چربی استفاده شد و چگونگی اثر این دو صمغ و برهم‌کنش آنها روی بافت و بعضی ویژگی‌های شیمیایی پنیر کم‌چرب با استفاده از روش سطح پاسخ ارزیابی شد.

• مواد و روش‌ها

مایه کشت، رنت و صمغ‌ها: برای انجام عمل تخمیر از مایه کشت مستقیم به وت، لیوفیلیزه (Lyophilized direct-to-vat mixed culture) (FRC-۶۰، مایه کشت شرکت لبنی *کریستین هنس*، دانمارک) استفاده شد که حاوی گونه های *لاکتوکوکوس لاکتیس* زیرگونه لاکتیک، *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیرگونه بولگاریکوس بود. انعقادگر، کیموزین به دست آمده از تخمیر توسط *آسپرژیلوس نایجر* گونه *آواموری* (رنت استاندارد کی‌مکس Chy-Max، شرکت لبنی *کریستین هانسن*، دانمارک) بود. دو بیوپلیمر طبیعی صمغ عربی (شرکت *شارلو*، اسپانیا) و صمغ گوار (شرکت *سیگما*، آلمان) در غلظت‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند.

روند تولید پنیر: ابتدا شیر خام (۳/۵ درصد چربی) به روش مداوم در پاستوریزاتورهای صفحه‌ای در دمای ۷۲°C به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه و سپس تا دمای ۴°C سرد شد. آنگاه از طریق مخلوط کردن آن با شیر کم‌چرب پاستوریزه (۰/۳ درصد چربی) درصدهای مورد نظر چربی (۱/۴، ۴/۹، ۰/۰) به دست آمد. سپس شیر تا دمای ۳۵°C گرم شد. طبق فرمولاسیون هر نمونه، مقدار مشخصی از صمغ عربی و گوار توزین شد. صمغ عربی به صورت مستقیم به شیر ۳۵°C افزوده شد، ولی صمغ گوار ابتدا در ۵۰ml آب به مدت ۷ ساعت فرایند هیدراسیون را طی کرد و سپس در بخشی از شیر با استفاده از میکسر حل شد آنگاه به وت تولید افزوده شد و به آرامی در مدت زمان ۱۵ دقیقه، عمل مخلوط کردن صمغ‌ها و شیر درون وت صورت گرفت. در این مرحله، کلرید کلسیم به میزان

Archive of SID
www.SID.ir

۰/۱۵g به ازای هر کیلوگرم شیر به آن افزوده وسپس مایه کشت آغازگر به غلظت ۰/۰۴g به ازای هر کیلوگرم شیر تلقیح شد و به مدت ۵۵ دقیقه در دمای ۳۵°C نگهداری شد تا آغازگرها فرصت کافی برای فعالیت و کاهش pH قبل از افزودن رنت را داشته باشند.

بعد از گذشت این مدت زمان، رنت به میزان ۰/۲۵ گرم به ازای هر کیلوگرم شیر به وت افزوده و ۵۰ دقیقه برای تشکیل لخته به آن فرصت داده شد. لخته ایجاد شده به مکعب‌های $1cm^3$ به مدت ۱۰ دقیقه به حال خود رها شد و سپس با آهنگی رو به افزایش، مکعب‌ها را به مدت ۱۰ دقیقه هم زدند تا خروج آب پنیر از آنها تسریع شود. پس از تخلیه آب پنیر، لخته را در قالب های مخصوص پرس (۲۵×۱۳×۱۴ cm) ریختند و به مدت ۱ ساعت با استفاده از وزنهٔ مخصوص (به ازای هر ۳۰ کیلو گرم لخته نهایی، وزنه ۲۰ کیلوگرمی) تحت پرس قرار گرفت. بعد از فرایند پرس کردن، لخته به اندازهٔ دلخواه (۲cm×۷cm×۷cm) بریده شد و سپس قطعات لخته در آب نمک اشباع (۲۲ % w/v) به مدت ۱۶ ساعت قرار داده شد. پس از گذشت این زمان، لخته‌ها در ظروف پلاستیکی غیرقابل نفوذ به هوا قرار داده شده و سطح آنها با آب نمک ٪۱۳ پوشانده شد (آب نمک مصرفی قبل از مصرف در دمای ۸۰°C به مدت زمان ۱۰ دقیقه پاستوریزه و سپس به سرعت خنک شد). بعد از عمل دربندی ظروف، لخته‌ها به مدت ۶۰ روز دوره رسیدن را در دمای۶°C- ۵ طی کردند.

آزمایش‌های شیمیایی: نمونه‌های پنیر پس از گذشت ۶۰ روز از تولید، تحت آنالیزهای شیمیایی، جهت تعیین ماده جامد کل، چربی، اسیدیته، نمک و اسیدهای چرب آزاد قرار گرفتند. ماده جامد کل هر نمونه به روش خشک کردن آنها تا رسیدن به وزن ثابت (استاندارد ملی شماره ۱۷۵۳) و میزان چربی نمونه‌ها به روش ژربر (استاندارد ملی شماره ۷۶۰)و میزان نمک به روش ولهارد (James, ۱۹۹۵) تعیین شد. اسیدیته قابل تیتراسیون بر اساس اسید لاکتیک (w/w) اندازه‌گیری شد (AOAC,۱۹۹۷). اندازه‌گیری اسیدهای چرب آزاد هم به روش استخراج چربی به وسیله دی‌اتیل‌اتر و سپس تعیین اندیس اسیدی از طریق تیتراسیون اتانولی و به صورت meq/100g of fat گزارش شد (۱).

آزمایش‌های رئولوژیکی:

فشرش تک محوری (uniaxial analysis): این آزمایش که ساده‌ترین آزمایش بنیادین است (۲۲) با استفاده از ماشین آزمایش یونیورسال (S-Series Bench U.T.M. Model H5k-S, Hounsfield Test Equipment Ltd., UK) مجهز به لود سل ۵۰۰ نیوتنی انجام گرفت. برای انجام آزمایش، پیستونی مسطح و گرد با قطر ۴۹ mm به پیشانی پیش روندهٔ دستگاه متصل شد. نمونه‌های پنیر به شکل استوانه‌هایی به قطر ۲۴ و ارتفاع ۱۵mm در دمای ۶°C بریده شد و به منظور از دست ندادن رطوبت، به سرعت در داخل ظروف غیر قابل نفوذ به هوا قرار داده شد. نمونه‌های پنیر از عمق ۲ میلی‌متری قالب های پنیر گرفته شد (۱۸). جهت هم‌دما شدن نمونه‌ها با آزمایشگاه، پیش از آزمایش در دمای اتاق، حداقل به مدت ۴ ساعت قرار گرفتند (۱۴). نمونه‌ها به صورت تک محوری با سرعت ۵۰mm در دقیقه تا ٪۵۷ (۸/۵mm) از ارتفاع اولیه در یک گاز فشرده شد. تنش گسیختگی با تقسیم کردن نیروی ثبت شده در نقطه گسیختگی بر سطح اولیه نمونه محاسبه شد (۲۰).

اندازه‌گیری های نوسانی پویا: اندازه‌گیری‌های نوسانی پویا با استفاده از رئومتر یونیورسال دینامیک اسپکترومتر ۲۰۰ USD انجام گرفت. نمونه‌ها حداقل از عمق یک سانتی‌متری از قالب‌های پنیر در دمای ۶°C بریده شد و سپس به سرعت به ظروف غیرقابل نفوذ منتقل و به مدت حداقل ۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. رئومتری دستگاه از نوع صفحات موازی با قطر ۲۵mm بود که در فاصله یک میلی‌متری آنها نمونه‌ها جای‌گذاری شدند. سپس به مدت ۱۵ تا۲۰ دقیقه زمان داده شد تا اثر تنش‌های وارده بر آنها از بین برود. اندازه-گیری‌ها در دامنه ویسکوالاستیک خطی (دامنه کرنش۰/۰۱تا ۲/۵۸ درصد) و در بسامد ۱۰ هرتز انجام و سپس پارامتر های مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') و همچنین تانژانت افت تهیه شد. در این بررسی، تنها مدول ذخیره اندازه‌گیری شد.

Archive of SID

www.SID.ir

طرح آزمایش‌ها: به منظور مطالعه اثرات چهار سطح از صمغ گوار(ppm ۳۰۰و۱۵۰، ۷۵، ۰) و سه سطح از صمغ عربی(ppm ۳۰۰و۱۵۰، ۰) و سه سطح چربی شیر(٪۰/۹،۱/۴، ۰/۴) از یک طرح D-Optimal استفاده شد و ۲۴ تیمار مختلف در ۶ بلوک کاملا تصادفی تولید و آزمایش شد.

طرح آماری: آنالیز آماری نمونه‌ها با استفاده از روش سطح پاسخRSM (Response Surface Methodology) انجام گرفت. این طرح، دربرگیرنده گروهی از تکنیک های آماری و ریاضی است که امکان رسیدن به شرایط بهینه در سیستم های پیچیده را فراهم می‌کند. با کاربرد آنالیز رگرسیون، شاخص‌های اندازه‌گیری شده در قالب یک چندجمله‌ای درجه دوم بر طبق معادله زیر مدل‌سازی شدند.

$$Y= \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ii} x^2_{ii} + \sum \sum \beta_{ij} x_i x_j$$

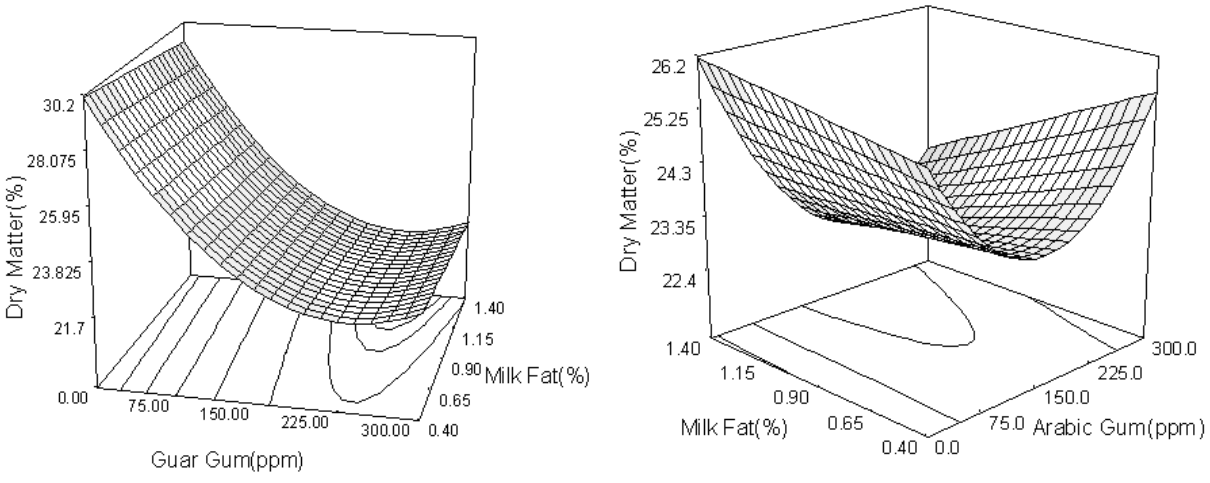
در این معادله β_0 و β_i و β_{ii} و β_{ij} ضرایب ثابت و Y پاسخ مورد نظر و x_i متغیر مستقل هستند.

در نهایت، بر مبنای روش تابع مطلوبیت، شرایط بهینه فراوری برای یک سری از پاسخ‌ها تعیین شد.

• یافته‌ها

ترکیب پنیر: با کمک طرح آماری RSM اثرات کاهش چربی شیر و استفاده ازدو هیدروکلوئید صمغ عربی و صمغ گوار به عنوان جایگزین چربی روی میزان ماده خشک، چربی، اسیدهای چرب آزاد، نمک و اسیدیته پنیر بعد از گذشت مدت زمان ۶۰ روز ارزیابی شد و در قالب نمودارهای سطحی و کنتر پلات نمایش داده شد (شکل‌های ۱ تا ۵).

در شکل ۱ برهم‌کنش این سه فاکتور بر ماده خشک پنیر کم‌چرب دیده می‌شود. شکل۱الف نشان می‌دهد که بین ماده خشک و چربی شیر، ارتباط مستقیم وجود دارد و با افزایش میزان چربی شیر، ماده خشک، افزایش و رطوبت، کاهش می‌یابد. در ضمن، در مورد اثر صمغ عربی می‌توان گفت که با افزایش غلظت آن تا میزان ppm ۱۵۰ ماده خشک کاهش می‌یابد، ولی همان طور که مشاهده می‌شود، در غلظت‌های بالاتر از این مقدار، ماده خشک، افزایش می‌یابد و این اثر صمغ عربی در غلظت بالا باعث معکوس شدن رابطه چربی شیر و ماده خشک پنیر می‌شود. در مورد اثر صمغ گوار (شکل ۱ب) با افزایش غلظت آن، همواره ماده خشک کاهش می‌یابد.



الف ب

شکل۱الف- اثر صمغ عربی و چربی شیر بر ماده خشک پنیر در غلظت ثابت صمغ گوار (۱۵۰ ppm)

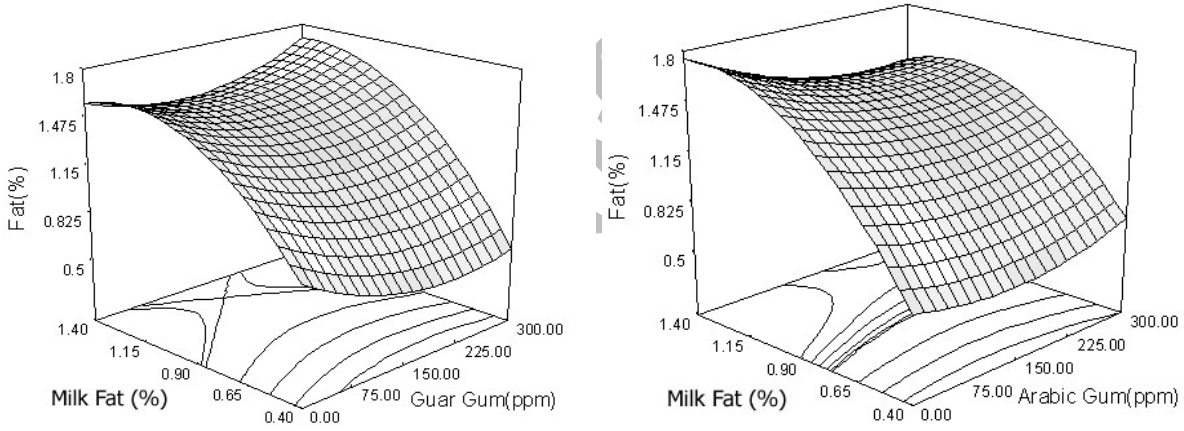
۱ ب- اثر صمغ گوار و چربی شیر بر ماده خشک پنیر در غلظت ثابت صمغ عربی(۱۵۰ ppm)

Archive of SID

www.SID.ir

برهم‌کنش این دو صمغ و چربی شیر بر میزان چربی پنیر نیز بررسی شد (شکل ۲). به موازات افزایش چربی شیر، میزان چربی پنیر افزایش می‌یابد(شکل‌های ۲ الف و ب). افزودن صمغ عربی و گوار بر روی چربی پنیر در میزان چربی کم شیر اثری ندارد، ولی در درصد چربی شیر بالاتر، صمغ عربی باعث کاهش و صمغ گوار باعث افزایش مقدار چربی پنیر می‌شود(شکل‌های ۲ الف و ب).

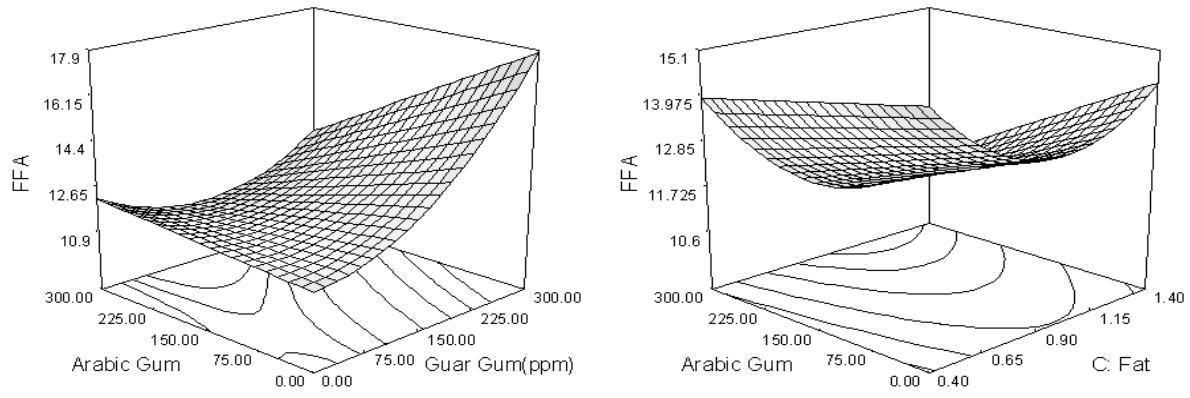
اثر متغیرها بر میزان اسیدهای چرب آزاد در شکل ۳ نشان داده شده است. در سطح ثابت چربی با افزایش میزان صمغ گوار، میزان اسید های چرب آزاد در پنیر افزایش می‌یابد و هر چه میزان صمغ عربی کمتر باشد، افزایش اسید های چرب آزاد تشدید می‌شود (شکل ۳ الف). ولی افزایش صمغ عربی باعث کاهش سطح اسیدهای چرب آزاد می‌شود (شکل ۳ ب). در سطح ثابت، صمغ گوار در ابتدا با افزایش چربی شیر، یک سیر نزولی در میزان اسیدهای چرب آزاد دیده می‌شود؛ ولی در سطوح بالاتر از ۱٪ چربی، میزان اسیدهای چرب آزاد افزایش می‌یابد.



ب الف

شکل۲ الف- اثر صمغ عربی و چربی شیر روی میزان چربی پنیر درغلظت ثابت صمغ گوار(۱۵۰ ppm)

۲ب- اثر صمغ گوار و چربی شیر روی میزان چربی پنیر در غلظت ثابت صمغ عربی(۱۵۰ ppm)



ب الف

شکل ۳ الف- اثر صمغ عربی و صمغ گوار بر میزان اسید های چرب آزاد پنیر در سطح ثابت چربی شیر(۰/۹ درصد)

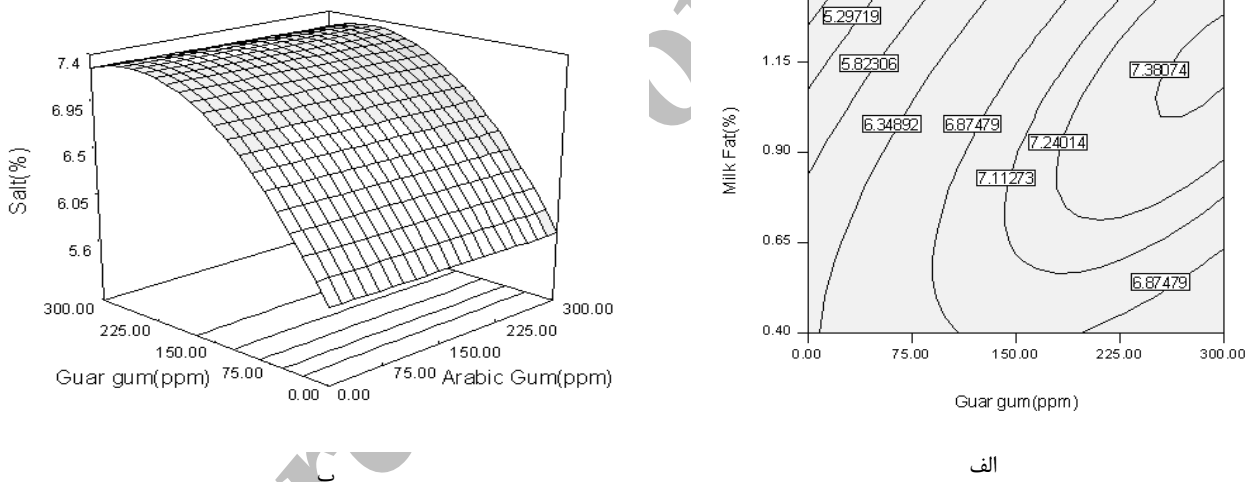
۳ ب- اثر صمغ عربی و چربی شیر بر میزان اسید های چرب آزاد پنیر در غلظت ثابت صمغ گوار(۱۵۰ ppm)

www.SID.ir

اثر تغییرات صمغ عربی و گوار و چربی شیر بر نمک در شکل ۴ مشاهده نشان داده شده است. از روی شکل ۴ الف مشخص است که یک رابطه معکوس بین چربی و نمک پنیر دیده می‌شود. در حالی‌که صمغ گوار ارتباط مستقیمی با میزان نمک پنیر دارد. شکل ۴ ب اثر صمغ عربی و گوار را نشان می‌دهد. صمغ عربی تأثیر مهمی بر میزان نمک ندارد و با صمغ گوار نیز بر هم‌کنشی ندارد.

اثر این متغیرها بر روی میزان اسیدیته پنیر بوسیله تیتراسیون بررسی شد، که تفاوت‌های مشخصی در مورد اسیدیته بین نمونه‌ها دیده نشد.

ویژگی‌های رئولوژیکی: تأثیر دو هیدروکلوئید صمغ عربی و گوار و چربی شیر روی ویژگی‌های رئولوژیکی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. تفاوت در شاخص‌های رئولوژیکی نمونه‌ها به دلیل برهم‌کنش متفاوت صمغ‌ها با شبکه پروتئینی است. همان طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، بررسی‌های آماری اثر این ۳ متغیر مشخص کرد که آنها بر روند تغییرات یکدیگر تاثیری ندارند به عبارت دیگر برهم‌کنشی نداشتند و اثر آنها جداگانه بررسی شد. شاخص رئولوژیکی G' (در اینجا تغییرات آن به صورت لگاریتمی بیان شده) با کاهش چربی افزایش می‌یابد (شکل ۵ الف). افزایش صمغ گوار باعث کاهش شدید $\log G'$ می‌شود (شکل ۵ ب). صمغ عربی تا ppm ۱۵۰، $\log G'$ کاهش و سپس افزایش می‌دهد(شکل ۵ ب)

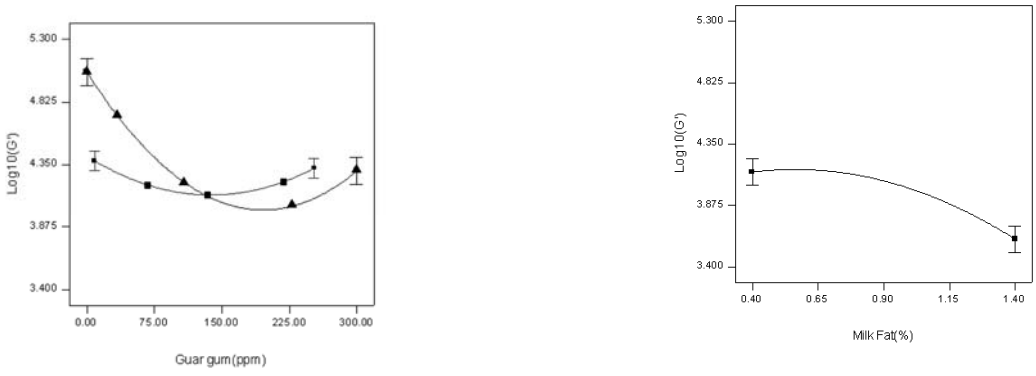


الف

ب

شکل ۴ الف- اثر صمغ گوار و چربی شیر بر میزان نمک پنیر در غلظت ثابت صمغ عربی(ppm ۱۵۰)

۴ ب- اثر صمغ عربی و صمغ گوار بر میزان نمک پنیر در سطح ثابت چربی شیر (۰/۹ درصد)



الف

ب

شکل۵ الف- اثر چربی شیر روی $\log G'$

۵ ب- اثر صمغ گوار(▲) و صمغ عربی (■) روی $\log G'$ به ترتیب در غلظت ثابت صمغ عربی(ppm ۱۵۰)و در غلظت ثابت صمغ گوار(ppm ۱۵۰)

www.SID.ir

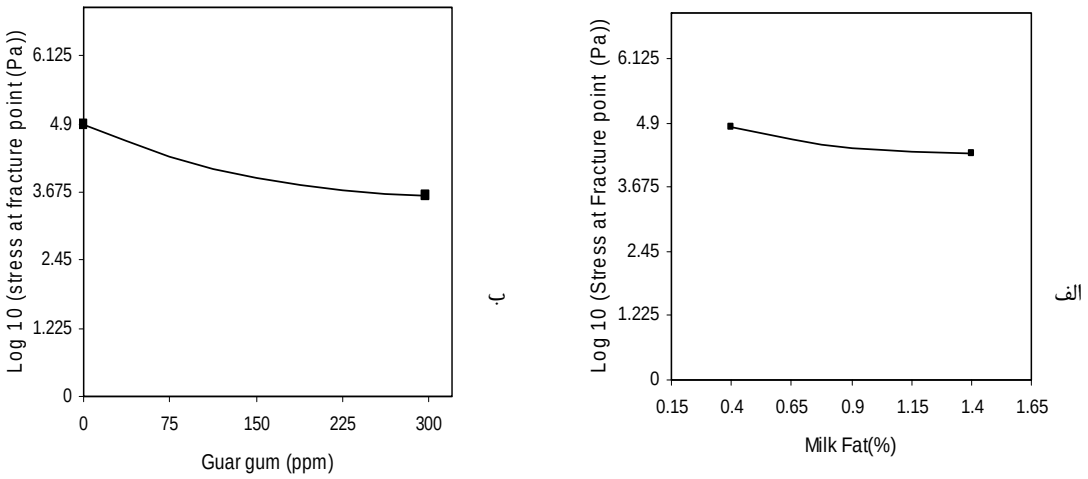
در مورد تنش در نقطه شکست (σ_f) نیز تغییرات به صورت جداگانه بررسی می‌شوند(شکل ۶). فقط چربی و صمغ گوار روی σ_f تاثیر داشتند. کاهش چربی باعث افزایش نیروی لازم جهت شکستن بافت می‌شود و σ_f افزایش می‌یابد. افزایش صمغ گوار باعث کاهش نیروی لازم جهت شکست و در نتیجه، کاهش σ_f می‌شود(شکل ۶ ب).

مدل سازی: با استفاده از این تکنیک آماری برای هر پاسخ (که همان ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بودند) یک معادله درجه دوم محاسبه شد. در جدول ۱ ضرایب رگرسیون مدل چند جمله‌ای، برای پاسخ های مختلف ارائه شده است. با توجه به مقادیر بالای $Adj\text{-}R^2$ (ضریب تبیین) می‌توان گفت مدل‌های خوبی پیشنهاد شده است. با جایگزینی متغیرهای مستقل (x_1:غلظت صمغ گوار(ppm)، x_2: غلظت صمغ عربی(ppm) x_3: درصد چربی شیر) در معادله هر پاسخ می‌توان میزان آن را پیشگویی کرد.

بهینه‌سازی: سرانجام، بهینه‌سازی شرایط تولید به دو صورت انجام گرفت، دو محدوده برای متغیرهای مستقل و وابسته تعریف شد و نقطه بهینه در هر دو تعیین شد. تفاوت این دو محدوده در میزان چربی شیر است. شرایط بهینه‌سازی در حالت اول در جدول ۲ نشان داده شده است.

فرمولاسیون بهینه با توجه به شرایط بالا به این صورت به دست آمد: غلظت صمغ گوار ۲۵/۸۵ppm و غلظت صمغ عربی ۵/۴۴ ppm و درصد چربی شیر ۱/۴درصد.

بهینه‌سازی در حالت دوم که چربی شیر مصرفی حداقل (۰/۴ درصد) در نظر گرفته شد، ولی بقیه شرایط طبق جدول ۲ بود. بنابراین، فرمولاسیون بهینه در حالت دوم به این صورت به دست آمد: غلظت صمغ گوار ppm ۱۱۲/۵۶، غلظت صمغ عربی ppm ۰ و چربی شیر ۰/۴ درصد.



شکل۶ الف- اثر چربی شیر روی σ_f در غلظت ثابت صمغ عربی(۱۵۰ ppm)و صمغ گوار(۱۵۰ ppm)

۶ ب- اثر صمغ گوار روی σ_f در غلظت ثابت صمغ عربی(۱۵۰ ppm)

www.SID.ir

جدول۱- ضرایب رگرسیون مدل های چند جمله ای برای پاسخ های مختلف

ضرایب	ماده خشک(٪)	Lnچربی	اسیدهای چرب آزاد (میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم چربی)	نمک(٪)	Log ($\bar{\sigma}_f$)	Log (G')
β_0	+۲۳/۰۴	+۱/۳۳	+۱۲/۰۹	+۷/۱۱	+۲/۲۵	+۴/۰۷
β_1	-۳/۵۳	-۰/۰۳۷	+۱/۷۰	+۰/۷۸	-۰/۴۱	-۰/۳۷
β_2	-۰/۶۶	-۰/۶۰	-۱/۰۹	-۰/۰۱۳	-۰/۰۲۵	-۰/۰۳۴
β_3	-۰/۳۶	+۰/۴۶	-۰/۹۱	-۰/۲۶	-۰/۱۶	-۰/۲۶
β_{12}	—	—	-۱/۴۵	—	—	—
β_{13}	—	+۰/۰۹۹	—	+۰/۷۶	+۰/۳۱	—
β_{23}	-۰/۷۱	-۰/۱۰	-۰/۵۴	-۰/۵۶	—	—
β_{11}	+۳/۱۹	+۰/۱۸	+۱/۴۷	-۰/۶۲	—	+۰/۶۱
β_{22}	+۲/۱۳	+۰/۱۳	—	—	—	+۰/۲۸
β_{33}	—	-۰/۳۲	۱/۵۱	-۰/۴۴	—	-۰/۱۹
^{1}Adj-R^2	۰/۹۵۳	۰/۹۷۴	۰/۸۴۶	۰/۹۰۸	۰/۹۵۸	۰/۹۷۲
^{2}F	۵۷/۹۲	۸۶/۲۹	۱۴/۳۶	۲۶/۲۷	۱۲۳/۴۷	۹۲/۹۵
P(f)	P ≤۰/۰۰۰۱	P≤۰/۰۰۰۱	P≤۰/۰۰۰۲	P≤۰/۰۰۰۱	P≤۰/۰۰۰۱	P≤۰/۰۰۰۱

۱= ضریب تبیین تنظیم شده

۲= توزیع فیشر

۳= احتمال F

جدول۲- شرایط بهینه‌سازی (چربی شیر در محدوده ۰/۴ تا ۱/۴ درصد)

متغیرها	صمغ گوار (ppm)	صمغ عربی (ppm)	چربی شیر (٪)	ماده خشک (٪)	نمک (٪)	مدول ذخیره (Pa)	فشار در نقطه شکست (Pa)
هدف	در محدوده	حداقل	در محدوده	حداکثر	حداقل	در محدوده	در محدوده
حدپایین	۰	۰	۰/۴	۲۲/۳۴	۳/۵	۲۰۰۰۰	۱۱۰۰۰
حد بالا	۳۰۰	۳۰۰	۱/۴	۳۲/۸۹	۸	۴۰۰۰۰	۲۲۰۰۰

• بحث

ترکیب پنیر: تغییرات ماده خشک و رطوبت در اثر کاهش چربی به علت تغییر در میزان پروتئین پنیرها است. کاهش چربی پنیر منجر به افزایش نسبت پروتئین می‌شود که در حقیقت، این کار باعث تشدید ظرفیت نگهداری آب در ماتریکس کازئین می‌شود. این یافته‌ها با نتایج *Volikakis* و همکاران در سال ۲۰۰۴ مطابقت دارد. در مورد اثر صمغ عربی می‌توان گفت که در ابتدا با افزایش صمغ عربی تا ppm ۱۵۰ در ماتریکس، جذب آب، بیشتر می‌شود، ولی در غلظت‌های بالاتر این اثر را ندارد به طوری که با افزایش غلظت آن و برهم‌کنش با شبکه پروتئینی، بافت پنیر، متراکم‌تر و میزان ماده خشک پنیر بیشتر می‌شود. در مورد صمغ گوار با افزایش غلظت آن، همواره ماده خشک پنیر کاهش می‌یابد. صمغ گوار دارای ظرفیت بالای نگهداری آب است. در نتیجه، باعث تاخیر در آب انداختن لخته‌ها می‌شود و نسبت ماده خشک پنیر را کاهش می‌دهد. نتایج مشابهی در مورد جایگزین‌های چربی به وسیله رحیمی و همکاران، *Katsiari* و همکاران و *Zalazar* و همکاران در سال‌های اخیر گزارش شده است.

در مورد تغییرات چربی مشاهده شد که با کاهش چربی شیر، محتوای چربی پنیر هم پایین می‌آید. در ضمن، صمغ‌ها در سطوح پایین اثری بر روند تغییرات چربی ندارند، ولی در سطوح بالا هر دو اثرات معکوسی نشان دادند که در مورد اثر صمغ عربی شاید به دلیل این باشد که با حضور صمغ عربی و متراکم‌تر شدن بافت، سهم چربی در پنیر کاهش می‌یابد. در مورد صمغ گوار هم می‌توان گفت این صمغ از طریق تاخیر در فرایند

Archive of SID

www.SID.ir

آبگیری، مانع از خروج گلبول‌های کوچک چربی از طریق آب پنیر می‌شود.

میزان اسیدهای چرب آزاد در پنیر بیانگر گسترش فرایند لیپولیز در پنیر است. با افزایش چربی شیر، یک سیر نزولی در میزان اسیدهای چرب آزاد دیده می‌شود. این یافته‌ها با نتایج مطالعه *Kavas* و همکاران در سال ۲۰۰۴ مطابقت دارد. زیرا با افزایش میزان چربی، میزان رطوبت ماتریکس کم می‌شود و به دنبال آن لیپولیز هم کاهش می‌یابد. صمغ گوار با فرایند لیپولیز چربی، رابطه مستقیمی نشان داد. تشدید فرایند لیپولیز و گسترش اسیدهای چرب آزاد با افزایش میزان صمغ گوار، احتمالا به دلیل افزایش رطوبت است که اصولاً شرایط را برای فعالیت آنزیمی و رشد میکروبی مناسب می‌کند. این اثر صمغ گوار آن قدر شدید است که رابطه چربی شیر و چربی پنیر را در سطوح بالای چربی شیر، معکوس می‌کند. افزایش صمغ عربی باعث کاهش سطح اسیدهای چرب آزاد می‌شود؛ به این دلیل که در غلظت‌های بالا صمغ عربی باعث افزایش ماده خشک و کاهش رطوبت می‌شود و در نتیجه فرایند لیپولیز کاهش می‌یابد.

در مورد برهم‌کنش و اثر این سه فاکتور روی میزان نمک پنیر مشاهده شد که صمغ عربی با صمغ گوار برهم‌کنشی نشان نمی‌دهد و افزایش چربی شیر باعث کاهش و صمغ گوار باعث افزایش نمک می‌شود. تفاوت در میزان نمک احتمالا به دلیل تفاوت در میزان رطوبت است؛ هر قدر میزان رطوبت، بیشتر باشد، نمک بیشتری وارد فاز آبی ماتریکس می‌شود (۲۲، ۱۰، ۷).

ویژگی‌های رئولوژیکی: پنیر یک ماده ویسکوالاستیک است و خواص رئولوژیکی نمونه‌ها را می‌توان با شاخص‌هایی مثل مدول افت (G'')، مدول ذخیره (G')، تنش و کرنش در نقطه شکست مقایسه کرد. در اینجا از دو پارامتر مدول ذخیره (G') که نشان دهنده خاصیت الاستیک پنیر است (۱۲) و تنش در نقطه شکست (σ_f) استفاده می‌کنیم. بالا بودن این دو پارامتر بیانگر سفتی پنیر است و مقدار آنها به تعداد و استحکام پیوندهای بین رشته‌های کازئین بستگی دارد. گلبول‌های چربی و رطوبت به عنوان فاز پرکننده در ماتریکس کازئین عمل می‌کنند و موجب نرمی پنیر می‌شوند (۱۳). در پنیر کم‌چرب، کاهش چربی به مقدار مساوی به وسیله رطوبت جایگزین نمی‌شود و در نتیجه، میزان فاز پرکننده در ماتریکس کاهش می‌یابد و باعث متراکم تر شدن شبکه می‌شود. درنتیجه، بافت سفت‌تری حاصل می‌شود (۱۹، ۱۸). تفاوت در شاخص های رئولوژیکی نمونه‌ها بدلیل برهم‌کنش متفاوت صمغ‌ها با شبکه پروتئینی است.

آنالیز آماری نشان داد که این سه متغیر برهم‌کنشی ندارند و مستقل از هم عمل می‌کنند. به همین دلیل، اثر آنها به صورت جداگانه و تک فاکتوری بررسی شد. شاخص رئولوژیکی G' (در اینجا تغییرات آن به صورت لگاریتمی بیان شده) با کاهش چربی افزایش می‌یابد. افزایش صمغ گوار باعث کاهش شدید $\log G'$ می‌شود، به دلیل بالا بودن خاصیت آب دوستی این صمغ، مقدار رطوبت لخته بالا می‌رود. در غلظت‌های بالا بافت پنیر بعد از ۶۰ روز متلاشی شد. در حالت معمول ۶٪ از رنت اضافه شده به شیر در لخته پنیر باقی می‌ماند (۷) اما نسبت آن در پنیرهای با رطوبت بالاتر، بیشتر است و در نتیجه، فرایند پروتئولیز، شدیدتر و سرعت نرم شدن طی رسیدن در آنها بالاتر است (۲۴). در این زمینه، رحیمی و همکاران نیز نتایج مشابهی به دست آوردند. در مورد صمغ عربی مشاهده شد تا ppm ۱۵۰، $\log G'$ را کاهش و سپس افزایش می‌دهد. همان طور که در مورد اثر آن روی تغییرات ماده خشک هم دیدیم، می‌توان دریافت که در ابتدا با کاهش ماده خشک و افزایش رطوبت، بافت پنیر، نرم‌تر می‌شود و سپس در سطح بالاتر از ppm ۱۵۰ با کاهش میزان رطوبت، بافت سفت‌تری به دست می‌آید.

در مورد تنش در نقطه شکست (σ_f) هم تغییرات به صورت تک فاکتوری بررسی شد تغییر چربی شیر و صمغ گوار روی σ_f تاثیر بیشتری داشتند. کاهش چربی باعث سفت‌تر شدن بافت و افزایش نیروی لازم جهت شکستن بافت می‌شود. افزایش صمغ گوار به دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب باعث کاهش نیروی لازم جهت شکست می‌شود (۱۹، ۱۸، ۱۶).

بهینه‌سازی: در مرحله بهینه‌سازی با تعریف شرایط بهینه برای متغیرهای فرایند نقاط بهینه تعیین شدند. همان

Archive of SID

www.SID.ir

طور که در بخش یافته‌ها ذکر شد، دو نقطه بهینه تعیین شد. در مورد میزان چربی پایین، میزان صمغ عربی در فرمولاسیون باید پایین و نزدیک به صفر باشد و برعکس، میزان صمغ گوار باید بالا باشد تا بافت نرمی حاصل شود. در چربی شیر بالاتر در حضور صمغ گوار به دلیل نرم شدن بیش از حد باید سهم صمغ عربی افزایش یابد تا بتوان بافت مطلوبی به دست آورد.

این بررسی نشان داد که صمغ عربی در غلظت‌های بالاتر از ppm ۱۵۰ باعث افزایش در مدول ذخیره(G') شد و به دنبال آن، سختی نامطلوبی در بافت پنیر ایجاد کرد. بنابراین، در غلظت کمتر از ppm ۱۵۰ باید استفاده شود. با افزایش غلظت صمغ گوار، دو ویژگی رئولوژیکی، تنش در نقطه شکست (σ_f) و مدول ذخیره(G')، کاهش یافتند. بنابراین، با جذب رطوبت باعث بهبود بافت شد و توانست بافتی مشابه با پنیر سفید ایرانی تولید کند. در کل این بررسی نشان داد که می‌توان با کمک گرفتن از بعضی هیدروکلوئیدها مانند صمغ گوار، به عنوان جایگزین چربی، معایب مربوط به بافت پنیر کم‌چرب را برطرف کرد.

• References

1.Alizadeh M, Hamedi M, khosroshahi A. Optimizing sensorial quality of Iranian White Brine cheese using response surface methodology. J Food Sci 2005; 70: 299-303.

2.AOAC, Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington: AOAC 1997

3.Azarnia S, Ehsani MR, Mirhadi SA. Evaluation of the physico chemical characteristic of the curd during the ripening of Iranian Brine cheese. Int Dairy J 1997; 7: 473-478.

4.Dark M. A, Swanson BG. Reduced-and low-fat cheese technology: A review. Trends in Food Science & Technology 1995; 6: 366-369.

5.Erdem YK. Effects of ultrafilteration, fat reduction and salting on textural properties of white brined cheese. J Food Eng 2005; 71: 366-372.

6.Fenelon MA, Guinee TP. Flavour development in low fat cheese. Proceedings of 6 th Moorepark cheese Symposium; 2000 Dublin, Teagas.

7.Fox PF. Rennets and their action in cheese manufacture and ripening. Biotechnology and Applied Biochemistry 1988; 10: 522-535.

8.James CS. Analytical chemistry of foods. 1st ed. Glasgow: Blackie Academic & Professional 1995.

9.Katsiari MC, Voutsinas LP, Kondyli E. Alichanidis E. Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture. Food chem. 2002; 79: 193-198.

10.Kavas G, Oysun G, Kinik O, Vysal H. Effects of some fat replacer on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese. Food Chemistry 2004; 88: 381-388.

11.Koca N, Metin M. Textural, melting and sensory properties of low fat fresh Kashar cheeses produced by using fat replacer. Int Dairy J 2004; 14: 365-373.

12.Lobato-Calleros C, Rodrigues E, Sandoval-Castilla O, Vernon-Cartert EJ, Reduced-fat white fresh cheese-like products obtain from $W_1/O/W_2$ multiple emulsions: Viscoelastic and high-resolution image analyses. Food. Res. Int 2006; 39: 678-685.

13.Madadlou A, khosroshahi A, Mosavi ME. Rheology, macrostructure and functionality of low-fat Iranian White cheese made with different concentration of rennet. J Dairy Sci 2005; 88: 3052-3062.

14.Madadlou A, Mosavi ME, khosrowshahi A, Emamjome Z, Zargaran M. Effect of cream homogenization on textural characteristics of low-fat Iranian White cheese. Int Dairy J 2007; 17: 547-554.

15.Mistry VU. Low fat cheese technology. Int Dairy J 2001; 11: 413-422.

16.Rahimi J, Khosrowshahi A, Madadlou A, Aziznia S. Texture of low-fat Iranian White cheese as Influenced by Gum tragacanth as fat replacer. J. Dairy Sci. 2007;l In press.

17.Rodrigues J. Recent advances in the development of low-fat cheeses. Trends in Food Science and Technology 1998; 44 (10), 93-96.

18.Romeih EA, Michaelidou A, Biliaderis CG, Zerfiridis G, K. Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. Int Dairy J 2002; 12: 525-540.

19.Rudan MA, Barbano DM, Yun JJ, Kindstedt PS. Effect of fat content reduction on chemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella. J Dairy Sci 1999; 82: 661-672.

20.Sipahioglu O, Alvarez VB, Solano-Lopez C. Structure, physico chemical and sensory properties of Feta cheese made with tapioca starch and lecithin as fat mimetics. Int Dairy J 1999; 9: 783-789.

21.Tuinier R, Grotenhuis ET, Kruif CG D. The effect of depolymerised guar gum on the stability of skim milk. Food Hydro. 2000; 14: 1-7.

22.Tuink MH. Rheology of dairy foods that gel, strech, fracture. Journal of Dairy Science 2000; 83: 1892-1898.

23.Volikakis P, Biliaderis CG, Vamvakas C, Zerfiridis GK. Effects of a commercial oat-ß-glucan concentration on the chemical, physico-chemical and sensory attributes of a low-fat white-brined cheese product. Food. Res.Int 2004; 37: 83-94.

24.Zalazar C A, Zalazar CS, Bernal S, Bertola N, Bevilaequa A, Zaritzky N. Effect of moisture level and fat replacer on physicochemical, rheological and sensory properties of low fat soft cheeses. Int Dairy J 2002; 12: 45-50.

Archive of SID

www.SID.ir