

بررسی امکان تولید پنیر سفید ایرانی کم چربی و بهینه سازی ویژگی های 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- دانش آموخته 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 پذیرش: ۸۷/۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۸۷/۲/۳

چکیده

سابقه و هدف: شواهد و یافته های علمی نشان داده اند که بین مصرف زیاد چربی و بیماری هایی مانند چاقی مفرط، سخت شدن دیواره رگ ها، افزایش فشار خون و بیماری های قلبی عروقی ارتباط نزدیکی وجود دارد. در پی این مسئله و افزایش آگاهی مردم نسبت به مصرف چربی، افزایش چشمگیری در تقاضای محصولات غذایی کم چرب به وجود آمده است. در حال حاضر، محصولات لبنی کم چرب دارای طیف وسیعی هستند و مصرف پنیر های کم چرب و بدون چربی رو به افزایش 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 روش ها: نمونه های پنیر سفید ایرانی کم چرب به روش صنعتی در مقیاس کوچک از شیر گاو تهیه شد. اثر چهار غلظت صمغ گوار (۳۰۰ ppm، ۱۵۰، ۷۵، ۰) و سه غلظت صمغ عربی (۳۰۰ PPM، ۱۵۰، ۰) در سه سطح مختلف چربی (۱/۴، ۰/۹ و ۰/۴ درصد) از طریق اندازه گیری ویژگی های مختلف شیمیایی و رئولوژیکی با استفاده از طرح آماری سطح پاسخ، بررسی شد.

یافته ها: اثر کاهش چربی و استفاده از دو هیدروکلوئید (صمغ عربی و صمغ گوار) روی ویژگی های پنیر به وسیله نمودارهای سطح پاسخ و کنتر پلات ارزیابی شد و برای هر پاسخ مدل های چند جمله ای درجه دوم به دست آمد. در نهایت، بر اساس ویژگی های رئولوژیکی پنیر سفید ایرانی، نقاط بهینه تولید پنیر سفید ایرانی کم چرب تعیین شدند.

نتیجه گیری: صمغ عربی در غلظت های بالاتر از ۱۵۰ ppm 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 (G_r) 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، می توان معایب مربوط به بافت پنیر کم چرب را برطرف کرد.

واژگان کلیدی: پنیر سفید ایرانی کم چرب، جایگزین های چربی، صمغ گوار، صمغ عربی، رئولوژی

• مقدمه

آسیب های بافتی و انواع مشخصی از سرطان. در پی این مسئله و افزایش آگاهی مردم نسبت به مصرف چربی، افزایش چشم گیری در تقاضای محصولات غذایی کم چرب از جمله پنیر های کم چرب به وجود آمد (۱۰، ۹). چربی پنیر نه تنها دارای نقش تغذیه ای است، بلکه نقش مهمی

شواهد و یافته های علمی، حاکی از ارتباط مصرف زیاد چربی و افزایش خطر ابتلا به برخی بیماری ها هستند. مثل چاقی مفرط (obesity)، سخت شدن دیواره رگ ها (atherosclerosis)، بیماری های قلبی عروقی (coronary heart disease)، افزایش فشار خون،

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 به‌وت، لیوفیلیزه (Lyophilized direct-to-vat mixed culture) (FRC-۶۰)، مایه کشت شرکت لبنی کریستین هانس، دانمارک) استفاده شد که حاوی گونه‌های لاکتوکوکوس لاکتیس زیرگونه لاکتیک، استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگاریکوس بود. انعقادگر، کیموزین به دست آمده از تخمیر توسط اسپرژیلوس نایجر گونه آواموری (رنت استاندارد کی مکس Chy-Max، شرکت لبنی کریستین هانس، 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 4°C به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه و سپس تا دمای 3°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، ۰/۱۰) به دست آمد. سپس شیر تا دمای 35°C گرم شد. طبق فرمولاسیون هر نمونه، مقدار مشخصی از صمغ عربی و گوار توزین شد. صمغ عربی به صورت مستقیم به شیر 35°C افزوده شد، ولی صمغ گوار ابتدا در ۵۰ ml آب به مدت ۷ ساعت فرایند هیدراسیون را طی کرد و سپس در بخشی از شیر با استفاده از میکسر حل شد آنگاه به‌وت تولید افزوده شد و به آرامی در مدت زمان ۱۵ دقیقه، عمل مخلوط کردن صمغ‌ها و شیر درون ووت صورت گرفت. در این مرحله، کلرید کلسیم به میزان

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 نتیجه استفاده از آنها، یک حس لغزندگی (lubricity) و خامه‌ای (creaminess) در پنیر ایجاد می‌شود (۱۷، ۱۸، ۱۴).

Volikakis و همکاران در سال ۲۰۰۴ از کنسانتره β گلوکان یولاف به عنوان جایگزین چربی استفاده کردند و توانستند همه شاخص‌های بافتی پنیر کم‌چرب آب نمکی را اصلاح کنند؛ ولی β گلوکان 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، کربوکسی‌متیل سلولز و صمغ عربی، پایدار شده بود، استفاده کردند. در مطالعه آنها پنیر حاوی کربوکسی‌متیل سلولز، 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 دوره 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 (۱، ۳، ۶). رحیمی و همکاران در سال ۲۰۰۷ از صمغ تراگانان (*Tragacant*) کتیرا به عنوان جایگزین چربی

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 رونده 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 قالب‌های 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 ۵۰ mm 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).

اندازه‌گیری‌های 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 جای گذاری شدند. سپس به مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه زمان داده شد تا اثر تنش‌های وارده بر آنها از بین برود. اندازه‌گیری‌ها در دامنه ویسکوالاستیک خطی (دامنه کرنش ۰/۱ تا ۲/۵۸ درصد) و در بسامد ۱۰ هرتز انجام و سپس پارامترهای مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') و همچنین تانژانت افت تهیه شد. در این بررسی، تنها مدول ذخیره اندازه‌گیری شد.

به ازای هر کیلوگرم شیر به آن افزوده و سپس 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 ۱cm³ 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 قالب‌های مخصوص پرس (۲۵×۱۳×۱۴ cm) ریختند و به مدت ۱ ساعت با استفاده از وزنه مخصوص (به ازای هر ۳۰ کیلو گرم لخته نهایی، وزنه ۲۰ کیلوگرمی) تحت پرس قرار گرفت. بعد از فرایند پرس کردن، لخته به اندازه 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 دمای ۶°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

• یافته‌ها

ترکیب پنیر: با کمک طرح آماری RSM اثرات کاهش چربی شیر و استفاده از دو 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 کنتور پلات نمایش داده شد (شکل‌های ۱ تا ۵).

در شکل ۱ برهم‌کنش این سه فاکتور بر ماده خشک پنیر کم‌چرب دیده می‌شود. شکل الف 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 ۱۵۰ ppm ماده خشک کاهش می‌یابد، ولی همان‌طور 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 ب) با افزایش غلظت آن، همواره ماده خشک کاهش می‌یابد.

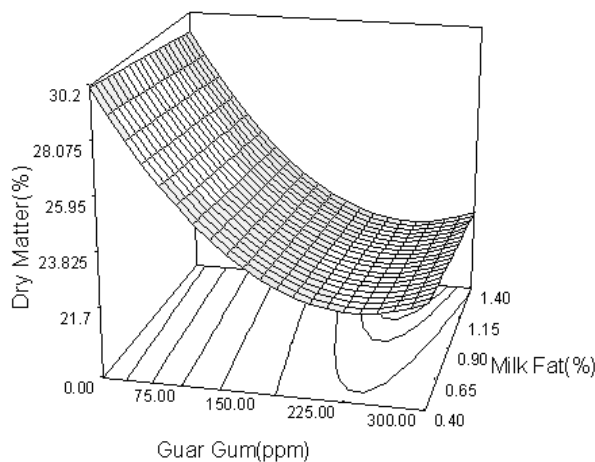
طرح آزمایش‌ها: به منظور مطالعه اثرات چهار سطح از صمغ گوار (۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ ppm) و سه سطح از صمغ عربی (۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ ppm) و سه سطح چربی شیر (۰/۴، ۰/۹، ۱/۴٪) از یک طرح D-Optimal استفاده شد و ۲۴ تیمار مختلف در ۶ بلوک کاملاً تصادفی تولید و آزمایش شد.

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

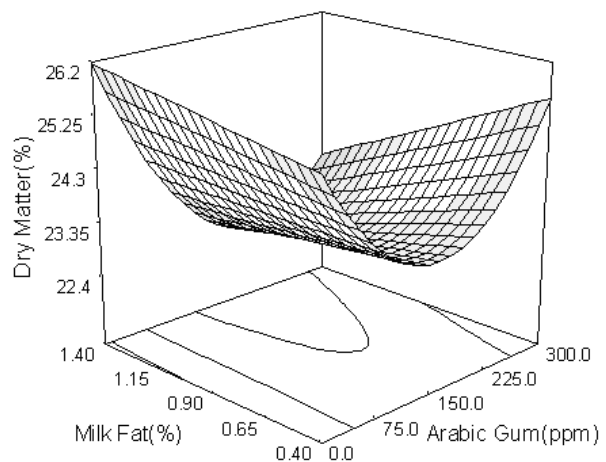
$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum \beta_{ij} x_i x_j$$

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.



ب



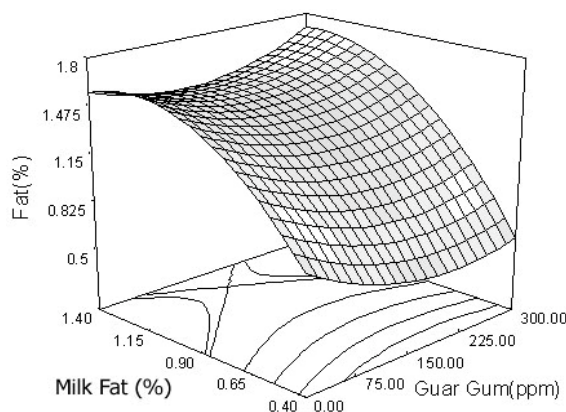
الف

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

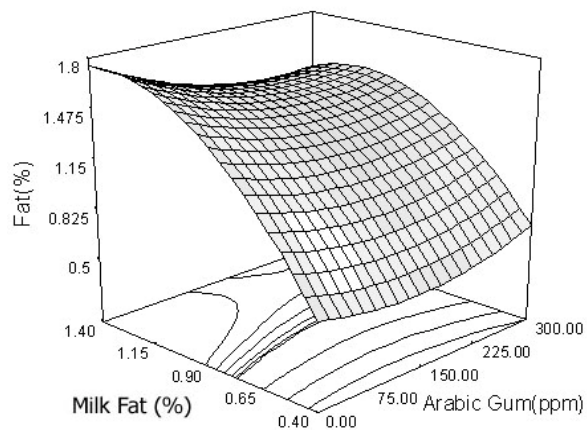
ب- اثر صمغ گوار و چربی شیر بر ماده خشک پنیر در غلظت ثابت صمغ عربی (۱۵۰ ppm)

میزان صمغ گوار، میزان اسیدهای چرب آزاد در پنیر افزایش می‌یابد و هر چه میزان صمغ عربی کمتر باشد، افزایش اسیدهای 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.

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



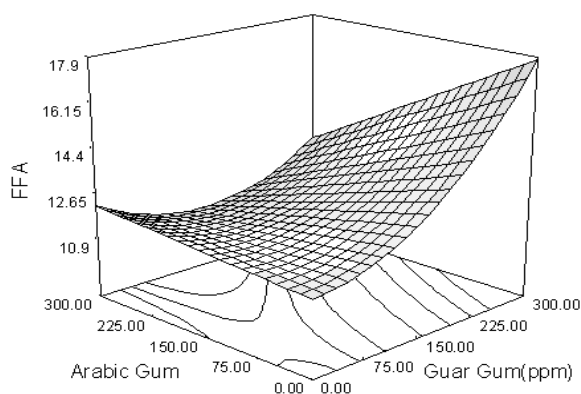
ب



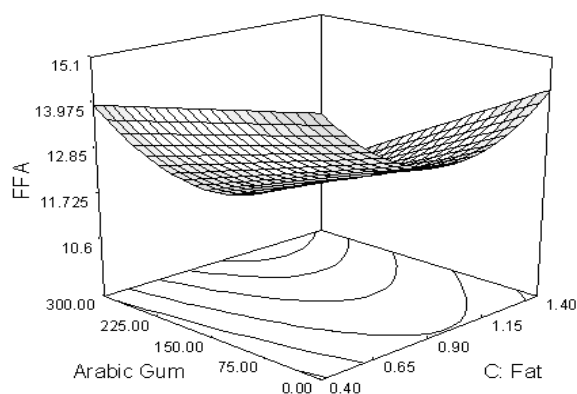
الف

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

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



ب

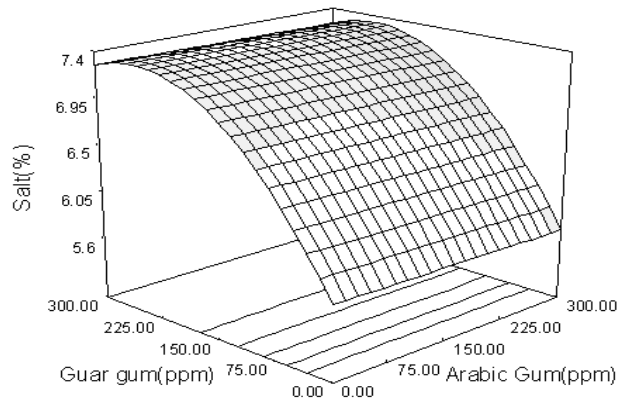


الف

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

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

شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. تفاوت در شاخص‌های رئولوژیکی نمونه‌ها به دلیل برهم‌کنش متفاوت صمغ‌ها با شبکه پروتئینی است. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، بررسی‌های آماری اثر این ۳ متغیر مشخص کرد که آنها بر روند تغییرات یکدیگر تأثیری 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 ۱۵۰ ppm، $\log G'$ کاهش و سپس افزایش می‌دهد (شکل ۵ ب)

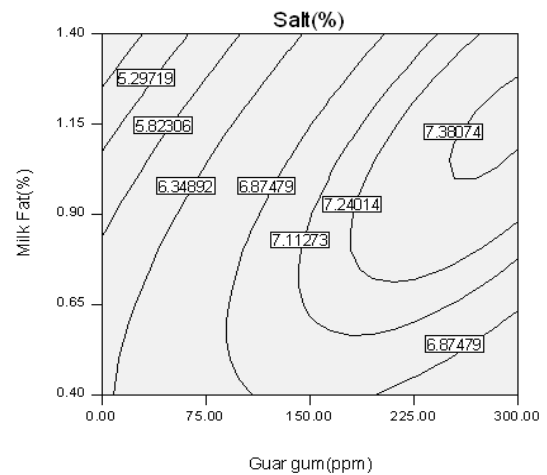


ب

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 حالی که 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 برهم‌کنشی ندارد.

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

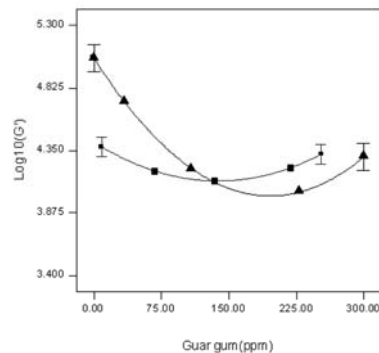
ویژگی‌های رئولوژیکی: تأثیر دو هیدروکلوئید صمغ عربی و گوار و چربی شیر روی ویژگی‌های رئولوژیکی در



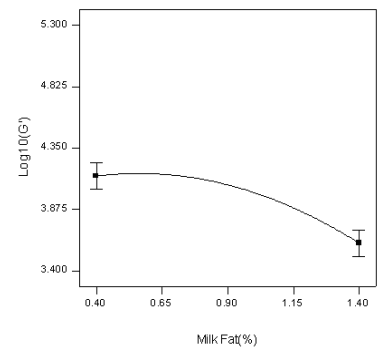
الف

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

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



ب



الف

شکل ۵ 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 (۱۵۰ ppm) و در غلظت ثابت صمغ گوار (۱۵۰ ppm)

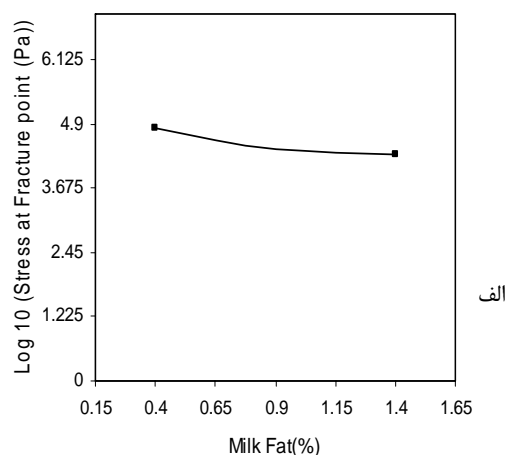
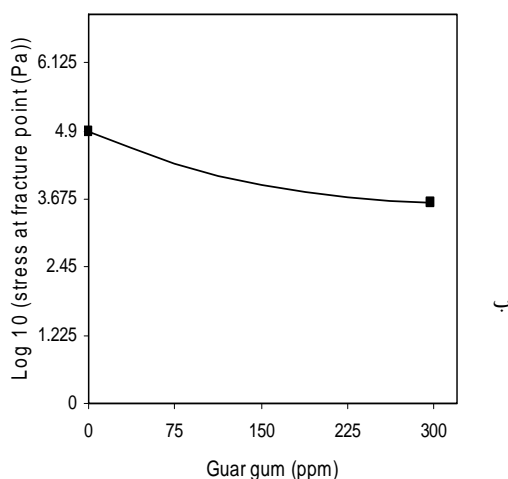
بهینه‌سازی: سرانجام، بهینه‌سازی شرایط تولید به دو صورت انجام گرفت، دو محدوده برای متغیرهای مستقل و وابسته تعریف شد و نقطه بهینه در هر دو تعیین شد. تفاوت این دو محدوده در میزان چربی شیر است. شرایط بهینه‌سازی در حالت اول در جدول ۲ نشان داده شده است.

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 ۱/۴ درصد.

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.

در مورد تنش در نقطه شکست ($\bar{\sigma}_f$) نیز تغییرات به صورت جداگانه بررسی می‌شوند (شکل ۶). فقط چربی و صمغ گوار روی $\bar{\sigma}_f$ تاثیر داشتند. کاهش چربی باعث افزایش نیروی لازم جهت شکستن بافت می‌شود و $\bar{\sigma}_f$ افزایش می‌یابد. افزایش صمغ گوار باعث کاهش نیروی لازم جهت شکست و در نتیجه، کاهش $\bar{\sigma}_f$ 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 پاسخ‌های مختلف ارائه شده است. با توجه به مقادیر بالای $Adj-R^2$ (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.



شکل ۶ الف- اثر چربی شیر روی $\bar{\sigma}_f$ در غلظت ثابت صمغ عربی (۱۵۰ ppm) و صمغ گوار (۱۵۰ ppm)

۶ ب- اثر صمغ گوار روی $\bar{\sigma}_f$ در غلظت ثابت صمغ عربی (۱۵۰ ppm)

جدول ۱- ضرایب رگرسیون مدل های چند جمله ای برای پاسخ های مختلف

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

۱= ضریب تبیین تنظیم شده

۲= توزیع فیشر

۳= احتمال F

جدول ۲- شرایط بهینه سازی (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
حد پایین	۰	۰	۰/۴	۲۲/۳۴	۳/۵	۲۰۰۰۰	۱۱۰۰۰
حد بالا	۳۰۰	۳۰۰	۱/۴	۳۲/۸۹	۸	۴۰۰۰۰	۲۲۰۰۰

• بحث

ظرفیت بالای نگهداری آب است. در نتیجه، باعث تاخیر در آب انداختن لخته ها می شود و نسبت ماده خشک پنیر را کاهش می دهد. نتایج مشابهی در مورد جایگزین های چربی به وسیله رحیمی و همکاران، *Katsiari* و همکاران و *Zalazar* و همکاران در سال های اخیر گزارش شده است.

در مورد تغییرات چربی مشاهده شد که با کاهش چربی شیر، محتوای چربی پنیر هم پایین می آید. در ضمن، صمغ ها 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 متراکم تر شدن بافت، سهم چربی در پنیر کاهش می یابد. در مورد صمغ گوار هم می توان گفت این صمغ از طریق تاخیر در فرایند

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 می شود که در حقیقت، این کار باعث تشدید ظرفیت نگهداری آب در ماتریکس کازئین می شود. این یافته ها با نتایج *Volikakis* و همکاران در سال ۲۰۰۴ مطابقت دارد. در مورد اثر صمغ عربی می توان گفت که در ابتدا با افزایش صمغ عربی تا ۱۵۰ ppm در ماتریکس، جذب آب، بیشتر می شود، ولی در غلظت های بالاتر این اثر را ندارد به طوری که با افزایش غلظت آن و برهم کنش با شبکه پروتئینی، بافت پنیر، متراکم تر و میزان ماده خشک پنیر بیشتر می شود. در مورد صمغ گوار با افزایش غلظت آن، همواره ماده خشک پنیر کاهش می یابد. صمغ گوار دارای

می کنند و موجب نرمی پنیر می شوند (۱۳). در پنیر کم چرب، کاهش چربی به مقدار مساوی به وسیله رطوبت جایگزین نمی شود و در نتیجه، میزان فاز پرکننده در ماتریکس کاهش می یابد و باعث متراکم تر شدن شبکه می شود. در نتیجه، بافت سفت تری حاصل می شود (۱۹)، (۱۸). تفاوت در شاخص های رئولوژیکی نمونه ها بدلیل برهم کنش متفاوت صمغ ها با شبکه پروتئینی است.

آنالیز آماری نشان داد که این سه متغیر برهم کنشی ندارند و مستقل از هم عمل می کنند. 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 می یابد. افزایش صمغ گوار باعث کاهش شدید $\log G'$ می شود، به دلیل بالا بودن خاصیت آب دوستی این صمغ، مقدار رطوبت لخته بالا می رود. در غلظت های بالا بافت پنیر بعد از ۶۰ روز متلاشی شد. در حالت معمول ۶٪ از رنت اضافه شده به شیر در لخته پنیر باقی می ماند (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 $\log G' 150$ ، ppm را کاهش و سپس افزایش می دهد. همان طور که در مورد اثر آن روی تغییرات ماده خشک هم دیدیم، می توان دریافت که در ابتدا با کاهش ماده خشک و افزایش رطوبت، بافت پنیر، نرم تر می شود و سپس در سطح بالاتر از 150 ppm با کاهش میزان رطوبت، بافت سفت تری به دست می آید.

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 سفت تر شدن بافت و افزایش نیروی لازم جهت شکستن بافت می شود. افزایش صمغ گوار به دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب باعث کاهش نیروی لازم جهت شکست می شود (۱۶، ۱۸، ۱۹).

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

آبگیری، مانع از خروج گلبول های کوچک چربی از طریق آب پنیر می شود.

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 می شود. این یافته ها با نتایج مطالعه *Kavas* و همکاران در سال ۲۰۰۴ مطابقت دارد. زیرا با افزایش میزان چربی، میزان رطوبت ماتریکس کم می شود و به دنبال آن لیپولیز هم کاهش می یابد. صمغ گوار با فرایند لیپولیز چربی، رابطه مستقیمی نشان داد. تشدید فرایند لیپولیز و گسترش اسیدهای چرب آزاد با افزایش میزان صمغ گوار، احتمالاً به دلیل افزایش رطوبت است که اصولاً شرایط را برای فعالیت آنزیمی و رشد میکروبی مناسب می کند. این اثر صمغ گوار آن قدر شدید است که رابطه چربی شیر و چربی پنیر را در سطوح بالای چربی شیر، معکوس می کند. افزایش صمغ عربی باعث کاهش سطح اسیدهای چرب آزاد می شود؛ به این دلیل که در غلظت های بالا صمغ عربی باعث افزایش ماده خشک و کاهش رطوبت می شود و در نتیجه فرایند لیپولیز کاهش می یابد.

در مورد برهم کنش و اثر این سه فاکتور روی میزان نمک پنیر مشاهده شد که صمغ عربی با صمغ گوار برهم کنشی نشان نمی دهد و افزایش چربی شیر باعث کاهش و صمغ گوار باعث افزایش نمک می شود. تفاوت در میزان نمک احتمالاً به دلیل تفاوت در میزان رطوبت است؛ هر قدر میزان رطوبت، بیشتر باشد، نمک بیشتری وارد فاز آبی ماتریکس می شود (۲۲، ۱۰، ۷).

ویژگی های رئولوژیکی: پنیر یک ماده ویسکوالاستیک است و خواص رئولوژیکی نمونه ها را می توان با شاخص هایی 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 می کنیم. بالا بودن این دو پارامتر بیانگر سفتی پنیر است و مقدار آنها به تعداد و استحکام پیوندهای بین رشته های کازئین بستگی دارد. گلبول های چربی و رطوبت به عنوان فاز پرکننده در ماتریکس کازئین عمل

بنابراین، در غلظت کمتر از ۱۵۰ ppm باید استفاده شود. با افزایش غلظت صمغ گوار، دو ویژگی رئولوژیکی، تنش در نقطه شکست (G_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.

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 ۱۵۰ ppm باعث افزایش در مدول ذخیره (G') شد و به دنبال آن، سختی نامطلوبی در بافت پنیر ایجاد کرد.

• References

- Alizadeh M, Hamed M, khosroshahi A. Optimizing sensorial quality of Iranian White Brine cheese using response surface methodology. *J Food Sci* 2005; 70: 299-303.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington: AOAC 1997
- 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.
- Dark M. A, Swanson BG. Reduced-and low-fat cheese technology: A review. *Trends in Food Science & Technology* 1995; 6: 366-369.
- Erdem YK. Effects of ultrafiltration, fat reduction and salting on textural properties of white brined cheese. *J Food Eng* 2005; 71: 366-372.
- Fenelon MA, Guinee TP. Flavour development in low fat cheese. *Proceedings of 6 th Moorepark cheese Symposium*; 2000 Dublin, Teagas.
- Fox PF. Rennets and their action in cheese manufacture and ripening. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 1988; 10: 522-535.
- James CS. Analytical chemistry of foods. 1st ed. Glasgow: Blackie Academic & Professional 1995.
- 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.
- 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.
- 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.
- Lobato-Calleros C, Rodrigues E, Sandoval-Castilla O, Vernon-Carter 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.
- 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.
- Madadlou A, Mosavi ME, khosrowshahi A, Emamjome Z, Zargar M. Effect of cream homogenization on textural characteristics of low-fat Iranian White cheese. *Int Dairy J* 2007; 17: 547-554.
- Mistry VU. Low fat cheese technology. *Int Dairy J* 2001; 11: 413-422.
- 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; 1 In press.
- Rodrigues J. Recent advances in the development of low-fat cheeses. *Trends in Food Science and Technology* 1998; 44 (10), 93-96.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Tuink MH. Rheology of dairy foods that gel, stretch, fracture. *Journal of Dairy Science* 2000; 83: 1892-1898.
- Volikakis P, Biliaderis CG, Vamvakas C, Zerfiridis GK. Effects of a commercial oat- β -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.
- Zalazar C A, Zalazar CS, Bernal S, Bertola N, Bevilacqua 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.