



اثر افزودن صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی‌های بافتی پنیر

سفید فراپالوده نیم چرب

سیده آمنه حبیبی^۱، حسین جوینده^{۲*}

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاتانی، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ‌های مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۹	هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر صمغ فارسی (PG) و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTGase) بر ویژگی‌های بافتی پنیر سفید فراپالوده نیم چرب طی مدت ۶۰ روز نگهداری در یخچال بود. بدین منظور، صمغ فارسی در سه سطح (۰، ۰/۲۵، و ۰/۵٪) و آنزیم ترانس گلوتامیناز در سه سطح (۰، ۰/۵، و ۱ واحد به ازای هر گرم پروتئین) به نمونه‌های پنیر اضافه گردید. نمونه‌های پنیر بدون هیچ گونه تیماری به عنوان نمونه‌های شاهد در نظر گرفته شدند. یافته‌های این مطالعه مشخص ساخت که افزودن PG برخلاف تیمار MTGase سبب کاهش pH گردید ($p < ۰/۰۵$). در طی دوره نگهداری، مقادیر pH تمامی نمونه‌های پنیر کاهش یافت، اما از نظر آماری تنها میان روزهای اول و سی‌ام نگهداری تفاوت معناداری وجود داشت. در طی دوره نگهداری، افزودن صمغ کاهش میزان آب‌اندازی نمونه‌ها را تا روز سی‌ام نگهداری به دنبال داشت، اما سپس تا پایان روز شصت‌ام میزان آب‌اندازی نمونه‌ها افزایش یافت. نتایج به دست آمده از آنالیز ویژگی‌های بافت مشخص ساخت که تیمار آنزیمی MTGase تا نیم واحد سبب کاهش سفتی، صمغی، ارتجاع‌پذیری و قابلیت جویدن و افزایش چسبندگی نمونه‌های پنیر شد اما به کارگیری مقدار بالاتر آنزیم (۱ واحد) سبب تغییر روند مذکور به شکل معنادار ($p < ۰/۰۰۱$) گردید. همچنین افزودن PG سبب کاهش سفتی، پیوستگی، صمغی، ارتجاع‌پذیری و قابلیت جویدن و افزایش چسبندگی نمونه‌های پنیر شد ($p < ۰/۰۰۱$). به طور کلی، با گذشت مدت زمان نگهداری سرد تمامی پارامترهای بافت به غیر از چسبندگی کاهش معنی‌داری یافت. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان با استفاده از سطوح ۰/۲۵ تا ۰/۵ درصد صمغ فارسی و همچنین مقدار ۰/۵ واحد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی پنیری با کیفیت مطلوب تولید نمود.
کلمات کلیدی: تیمار آنزیمی، جایگزین چربی، آب‌اندازی، آنالیز پروفیل بافت.	
DOI:10.22034/FSCT.21.156.110. *مسئول مکاتبات: hosjooy@asnruk.ac.ir	

۱-مقدمه

بالقوه‌ای مانند تغلیظ‌کننده، امولسیون‌کننده، سوسپانسیون‌کننده و پایدارکننده در فراورده‌های غذایی مختلف داشته باشد [۴].

علاوه‌براین، در صنایع غذایی جهت بهبود ویژگی‌های تکنولوژیکی، افزایش ارزش تغذیه‌ای و راندمان تولید فراورده‌های مختلف از آنزیم‌های متنوعی استفاده می‌شود. ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (MTGase)، پروتئین-گلوتامین-ε-گلوتامیل ترانسفراز، (EC 2.3.2.13)، یکی از آنزیم‌های پرکاربرد در صنایع لبنی به‌ویژه صنعت پنیرسازی می‌باشد. ترانس‌گلوتامیناز متعلق به خانواده ترانسفرازها است که پیوندهای عرضی میان گروه‌های ۷-کربوکسی آمید باقیمانده-های گلوتامین و گروه‌های ε-آمینو باقیمانده‌های لیزین در زنجیره‌های پلی‌پپتیدی را کاتالیز می‌کند و پیوندهای (۷)-ε-گلوتامیل (لیزین (G-L) تشکیل می‌دهد. آنزیم ترانس-گلوتامیناز در افزایش بازده تولید پنیر، افزایش ظرفیت نگهداری آب، بهبود بافت، افزایش عمر ماندگاری و همچنین بهبود ویژگی‌های بافتی و حسی پنیر نقش دارد. به‌علاوه، این آنزیم دارای اهمیت تغذیه‌ای، اقتصادی و زیست‌محیطی است [۲ و ۵].

یافته‌های مطالعه‌های انجام‌شده مشخص نموده است که در مقایسه با نمونه پنیر شاهد، نمونه‌های تیمارشده با MTGase و آنزیم لیپاز، دارای فعالیت پروتئولیز و لیپولیز بالاتری در طی دوره نگهداری بوده‌اند. به‌علاوه، آنالیز بافت افزایش ناچیزی در مقدار سفتی نمونه‌های تیمارشده با آنزیم نشان داد. نمونه‌های تیمارشده همچنین از قابلیت پذیرش بافت بالاتری برخوردار بودند [۵]. به‌طور مشابهی، نتایج اثر افزودن MTGase بر ویژگی‌های کیفی پنیرهای نرم تهیه‌شده از شیر شتر نشان داد که پنیرهای تیمارشده با آنزیم به‌طور قابل توجهی بازده پنیرسازی بالاتری در مقایسه با نمونه شاهد داشته‌اند. بازده واقعی تمامی پنیرهای تیمارشده با MTGase از ۱۹٪ تا ۲۰/۵٪ متغیر بود. به‌علاوه، مشخص گردید که نمونه‌های تیمارشده با ۸۰ U از آنزیم دارای بیشترین میزان

امروزه، به‌دلیل افزایش آگاهی افراد از مصرف مواد غذایی سالم، تقاضا برای تولید پنیرهای کم‌چرب به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در سالیان اخیر، تولید پنیرهای کم‌چرب با ویژگی‌های کیفی مشابه پنیرهای پرچرب مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در سرتاسر جهان قرار گرفته است. ازسوی دیگر، کاهش میزان چربی سبب ایجاد تغییرات گسترده‌ای در بافت، ویژگی‌های ذوب و همچنین ویژگی‌های ارگانولپتیکی این فراورده‌های لبنی می‌شود [۱]. استفاده از جایگزین‌های چربی، یکی از مؤثرترین راه‌حل‌ها جهت غلبه بر مشکلات ناشی از کاهش چربی پنیرها می‌باشد که افزودن آن‌ها سبب بهبود ویژگی‌های کیفی ماده غذایی، کاهش مقدار چربی و همچنین کاهش کالری دریافتی می‌شود. سفتی زیاد بافت، کاهش عطر و طعم و ویژگی‌های ذوب نامطلوب اصلی‌ترین مشکلات مطرح در فرمولاسیون پنیر کم‌چرب، است. می‌توان جهت حل این مشکلات، با افزودن ترکیباتی با ظرفیت نگهداری آب بالا نظیر هیدروکلوئیدها به پنیر، میزان رطوبت این فراورده را تنظیم کرد [۲].

بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که پلی‌ساکاریدهای گیاهی دارای ویژگی‌های بیولوژیکی مختلفی مانند خواص آنتی‌اکسیدانی، مهار رادیکال‌های آزاد، قابلیت تحریک ایمنی و خواص ضد ویروسی هستند [۳]. صمغ‌ها، یکی از پرکاربردترین پلی‌ساکاریدهایی هستند که امروزه به عنوان جایگزین‌های چربی در انواع فراورده‌های غذایی منجمده صنایع لبنی استفاده می‌شوند. صمغ فارسی (PG)، صمغ آنبونی استخراج‌شده از تنه و شاخه‌های درخت بادام وحشی (نام علمی: *Amygdalus scoparia*) است که اغلب در نواحی مرکزی ایران می‌روید. دارا بودن ویژگی‌هایی نظیر قابلیت جذب آب بالا، هزینه پایین و در دسترس بودن، صمغ فارسی را به یک جایگزین بالقوه برای صمغ‌های رایج در صنایع غذایی تبدیل کرده است. این صمغ می‌تواند کاربردهای

شستشوی آن، پودر صمغ تهیه شد. کشت مایه پنیر (rennilase) از شرکت کریستین هانسن (کپنهاگ، دانمارک) خریداری گردید. پودر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTGase) با میانگین فعالیت ۱۰۰ واحد به ازای هر گرم پروتئین از شرکت BDF Natural Ingredients، (خیرونا، اسپانیا) تهیه شد.

۲-۲- تولید نمونه‌های پنیر کم‌چرب با استفاده از روش فراپالایش

نمونه‌های پنیر فراپالوده در کارخانه لبنی پگاه خوزستان تولید شدند. به منظور تولید پنیر، از شیر تازه گاو با کیفیت بالا استفاده گردید. پس از دریافت شیر توسط کارخانه، دمای آن به وسیله مبدل حرارتی صفحه‌ای به حدود ۵ °C کاهش داده شد و سپس، تا هنگام انجام فرایند در تانک‌های استیل ذخیره‌سازی گردید. شیر از مخازن نگهداری به خط پاستوریزاسیون هدایت شده و سپس، دمای آن تا ۵۰ °C افزایش یافت. پس از انتقال شیر به دستگاه خامه‌گیر و تنظیم چربی آن بر روی ۳٪، شیر از دو دستگاه باکتوفوگاسیون عبور داده شد تا بار میکروبی آن به بیش از ۹۹٪ کاهش یابد. در مرحله بعد، شیر در دمای ۷۲ °C به مدت ۱۵ s پاستوریزه شد و پس از سرد کردن آن به وسیله مبدل حرارتی صفحه‌ای تا دمای حدود ۵ °C، شیر پاستوریزه در مخازن ذخیره گردید. به منظور تولید پنیر فراپالوده، در ابتدا شیر پاستوریزه به خط تولید پنیر فرستاده شد و توسط مبدل حرارتی دمای آن به ۵۰ °C افزایش یافت. سپس، جهت تغلیظ شیر به سیستم فراپالایش منتقل گردید. پس از عبور از سیستم فراپالایش، میزان ماده خشک شیر در حدود ۳۲٪ بود.

در مرحله بعد، پودر کنسانتره شیر (MPC) با ماده خشک مشابه ناتراوه (۳۲٪) به مقدار مساوی

سفتی می‌باشند. با افزایش غلظت MTGase به بالاتر از ۸۰، کاهش معناداری در میزان سفتی نمونه‌ها مشاهده شد. باین حال، تفاوت معناداری میان سفتی نمونه‌های حاوی ۱۰۰ و ۱۲۰ از MTGase وجود نداشت [۴].

در پژوهش دیگری، اثر صمغ‌های فارسی و بادام به-عنوان جایگزین‌های چربی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ریزساختار پنیرهای سفید کم‌چرب ایرانی مورد بررسی قرار گرفت. صمغ‌های مورد استفاده به‌طور مؤثری نسبت رطوبت به پروتئین (M:P) نمونه‌های پنیر کم‌چرب را افزایش دادند که کاهش معنادار پارامترهای سفتی، تنش شکست^۱، مدول یانگ^۲ و مدول ذخیره‌سازی^۳ (G') را به دنبال داشت، اما اثر صمغ فارسی بارزتر بود. به علاوه، افزودن صمغ باعث افزایش بازده تولید پنیر و همچنین افزایش سرعت پروتئولیز شد. بهینه‌سازی شرایط تولید نشان داد که استفاده از شیر پنیرسازی حاوی ۹/۰٪ چربی، ۲/۰٪ صمغ فارسی و ۱۲/۰٪ صمغ بادام منجر به تولید پنیر کم‌چربی با ویژگی‌های بافتی مشابه انواع پرچرب آن می‌شود [۶]. با توجه به موارد ذکر شده، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی پنیر سفید فراپالوده کم‌چرب انجام گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

نمونه‌های پنیر فراپالوده با استفاده از ناتراوه تولیدی در کارخانه پگاه خوزستان واقع در کیلومتر ۳ جاده شوش-دزفول تولید شدند. پودر کنسانتره پروتئینی شیر (MPC^۴) از شرکت پگاه خراسان تهیه شد. صمغ فارسی (PG) از یک مغازه محلی در ملاثانی تهیه شد و پس از تمیز کردن و

3. Storage modulus
4. Milk protein concentrate

1. Fracture stress
2. Young's modulus

حدود 30°C وارد شد و پس از خروج از تونل، بر سطح نمونه‌های پنیر کاغذ مقاوم به چربی قرار داده شده و به میزان ۲٪ (وزنی/وزنی) نمک طعام به آن افزوده شد. پس از درببندی ظروف پنیر با فویل آلومینیوم، درپایان ظروف پنیر به گرم‌خانه با دمای $35-37^{\circ}\text{C}$ منتقل شدند تا پس از گذشت ۱۸-۲۴ ساعت pH به حدود $4/8$ تنزل یابد. در نهایت نمونه‌ها به سردخانه با دمای 5°C منتقل شدند و آزمون‌های فیزیکوشیمیایی و بافت روی پنیر انجام شد [۶]. در جدول ۱، ویژگی ترکیبات ناتراوه و پودر کنسانتره پروتئین شیر (MPC) مورد استفاده در تولید نمونه‌های پنیر نشان داده شده است.

(حجمی/حجمی) به ناتراوه افزوده شد تا میزان چربی به نصف کاهش یابد. پس از افزودن صمغ فارسی در سه سطح ۰، ۰/۲۵ و ۰/۵٪ (حجمی/حجمی)، مخلوط با استفاده از دستگاه هموژنایزر (Ronghemachinery, JHG-Q60-P60, China) همگن شده و در دمای 75°C به مدت ۱۵ s حرارت داده شد. پس از خنک شدن ناتراوه به دمای حدود 30°C ، آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطوح ۰، ۰/۵ و ۱ واحد (به ازای هر گرم پروتئین ناتراوه) اضافه شد. سپس، ناتراوه در ظروف ۱۰۰ سی‌سی پنیر پر شد و مقدار ۳٪ از مخلوط کشت آغازگر و مایه رنت پنیر به مخلوط ناتراوه تهیه‌شده اضافه گردید. در ادامه، ظروف به تونل تشکیل دلمه یا منعقدکننده^۱ با دمای

Table 1. Chemical properties of retentate and milk protein concentrate (MPC) powder used in the production of cheese samples

Substance	Component (%)			
	Lactose	Ash	Fat	Protein
Retentate	2.70	1.40	15.35	12.38
Milk protein concentrate (MPC)	16.50	8	1.30	70

تعیین گردید. درپایان، درصد آب‌اندازی نمونه‌ها با استفاده از معادله ذیل محاسبه شد [۸]:

$$\text{Syneresis (\%)} = \frac{\text{Amount of seperated whey}}{\text{Amount of cheese sample}} \times 100$$

۲-۵- آنالیز پروفیل بافت (TPA)

آنالیز پروفیل بافت (TPA) با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (TA.XT.PLUS, Stable Micro System، انگلستان) و به-وسیله پروب شماره 5S/P انجام گرفت. سرعت پروب برابر با 1 mm/s تنظیم شد و پروب تا ۵۰٪ ارتفاع اولیه نمونه‌های پنیر (عمق ۱۰ میلی‌متری) به‌درون نمونه‌ها نفوذ کرد. سرعت پروب پیش و پس از آزمون به ترتیب 2 mm/s و 1 mm/s تنظیم گردید. پیش از انجام آزمون، نمونه‌های پنیر از یخچال خارج

۳-۲- اندازه‌گیری میزان pH

pH نمونه‌های پنیر با استفاده از pH متر دیجیتال (شرکت Metrohm، مدل ۸۲۷، سوئیس) در دمای اتاق اندازه‌گیری شد [۷].

۴-۲- اندازه‌گیری آب‌اندازی (سینریزس)

به‌منظور اندازه‌گیری میزان آب‌اندازی، نمونه‌های پنیر در دور $1500 \times g$ به مدت ۱۵ min در دمای اتاق سانتریفیوژ شدند. سپس، وزن رسوب و سوپرناتانت به‌وسیله ترازوی دیجیتال

شده و به مدت 30 min تا رسیدن به دمایی ثابت در دمای اتاق قرار گرفتند. در تمامی نمونه‌ها، آزمون سنجش بافت در سه قسمت مختلف پنیر انجام پذیرفت و میانگین نتایج ثبت گردید [2]. در این آزمون ویژگی‌های سفتی^۱ (N)، چسبندگی^۲ (N.mm)، پیوستگی^۳، ارتجاع‌پذیری^۴ (mm)، حالت صمغی^۵ (N) و جویدن‌پذیری^۶ (N.mm) نمونه‌های پنیر مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۶- آنالیز آماری

در مطالعه حاضر، از سه سطح مختلف صمغ فارسی (۰، ۰/۲۵ و ۰/۵؛ v/v) و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (۰، ۰/۵ و ۱ واحد) استفاده گردید. تمامی آزمون‌ها با سه تکرار انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی و بافتی نمونه‌های پنیر در طی روزهای یکم، سیام و شصتم دوره نگهداری سرد مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS آنالیز شدند. به منظور بررسی اختلاف معنادار میان تیمارهای پنیر از آنالیز واریانس ساده و جهت بررسی اثرات متقابل میان تیمارها و مدت زمان نگهداری از طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی استفاده گردید. میانگین داده‌ها در سطح اختلاف معناداری ۰/۰۵ ($p < 0.05$) مقایسه شدند. تمامی نتایج به صورت میانگین سه تکرار $\pm$ انحراف معیار بیان گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج به دست آمده از pH نمونه‌های پنیر

همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، مقادیر pH نمونه‌های پنیر به طور معناداری با یکدیگر متفاوت بود ($p < 0.05$). علاوه بر این، در جدول ۲، نتایج آنالیز واریانس

غلظت‌های مختلف MTGase و PG بر مقادیر pH نمونه‌های پنیر در طی دوره نگهداری سرد قابل مشاهده می‌باشد. به طور کلی، مقادیر pH نمونه‌ها از ۴/۶۴ (نمونه حاوی ۰ واحد آنزیم و ۰/۵ درصد صمغ) تا ۴/۸۹ (نمونه حاوی ۱ واحد آنزیم و ۰٪ صمغ) متغیر بود. در طی دوره نگهداری، مقادیر pH تمامی نمونه‌های پنیر کاهش یافت، اما از نظر آماری تنها میان روزهای ۱ و ۳۰ نگهداری تفاوت معناداری وجود داشت.

در مطابقت با یافته‌های به دست آمده از این پژوهش، در مطالعه دیگری نیز تفاوت معناداری میان مقادیر pH نمونه‌های پنیر کوارک^۷ تحت تأثیر تیمار آنزیمی مشاهده گردید. نمونه حاوی ۰/۳ g/L از MTGase و ۰/۰۶ g/L آنزیم لیپاز (نمونه T3) دارای پایین‌ترین مقدار pH و نمونه شاهد (T0، نمونه پنیر بدون انجام هیچ گونه تیماری) دارای بالاترین میزان pH بود. علاوه بر این، در طی یک دوره نگهداری بیست و یک روزه، میزان pH اغلب نمونه‌ها به طور معناداری کاهش یافت و کمترین مقدار pH (در حدود ۳/۸۰) برای نمونه T3 در روز بیست و یکم نگهداری اندازه گیری شد [5]. در پژوهشی مشابه، مشخص گردید که افزودن دانه ریحان، صمغ زانتان و غلظت‌های مختلف چربی تأثیر قابل توجهی بر میزان pH و اسیدیته پنیر خامه‌ای ندارد [9].

5. Gumminess
6. Chewability
7. Quark cheese

1. Hardness
2. Adhesiveness
3. Cohesiveness
4. Springiness

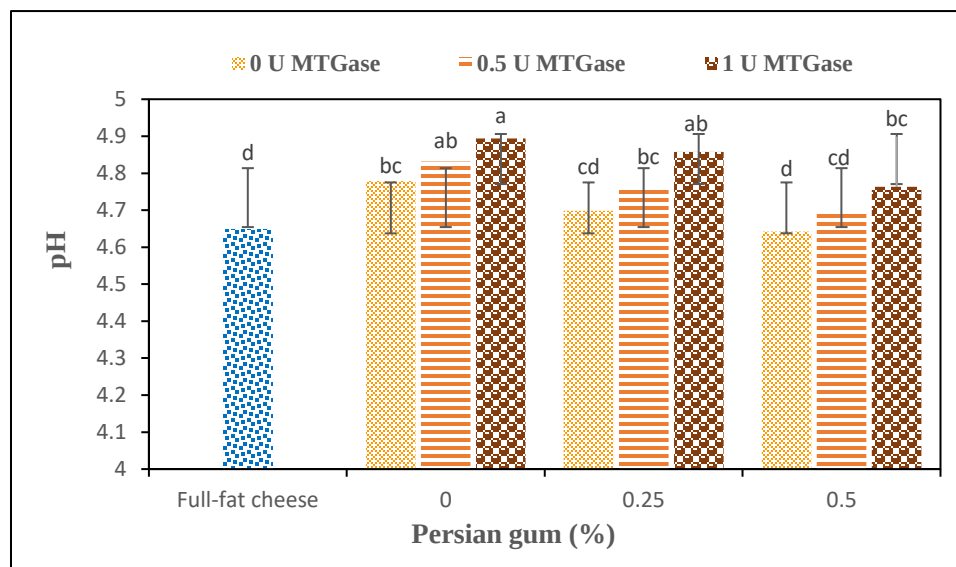


FIG. 1. Effect of different concentration of microbial transglutaminase (MTGase) and Persian gum (PG) on the pH of cheese samples

است. یافته‌های این مطالعه ارتباط معنادار میان افزودن صمغ و آنزیم و میزان آب‌اندازی نمونه‌های پنیر را نشان داد ($p < 0.05$). به‌طوری‌که با افزایش غلظت صمغ، میزان آب‌اندازی نمونه‌ها کاهش یافت. این امر ممکن است به‌دلیل افزایش بیشتر ماده خشک و همچنین افزایش خاصیت جذب و نگهداری آب توسط صمغ فارسی باشد. درحقیقت، با افزایش غلظت صمغ، به‌دام‌اندازی مولکول‌های آب در شبکه زلی تشکیل شده توسط صمغ افزایش یافته و بنابراین، ویسکوزیته فراورده افزایش و میزان آب‌اندازی کاهش می‌یابد [۱۱].

ازسوی دیگر، با افزایش غلظت آنزیم، درصد آب‌اندازی ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. کمترین میزان آب‌اندازی گزارش شده مربوط به تیمار حاوی ۰/۵ واحد آنزیم و ۰/۵ صمغ با مقدار ۰/۵۳٪ و پس از آن مربوط به تیمار حاوی ۰/۵ واحد آنزیم و ۰/۲۵ صمغ با مقدار ۱/۳٪ بود. بیشترین میزان آب‌اندازی نیز در نمونه‌های پنیر حاوی ۱ واحد آنزیم و ۰ صمغ با مقدار ۵/۸۲٪ و پس از آن تیمار فاقد آنزیم و ۰ صمغ با میزان ۳/۹۷٪ مشاهده شد. علاوه‌براین، اثرات متقابل متغیرهای موردآزمایش هیچ‌گونه اثر معناداری را بر میزان

۳-۲- نتایج به‌دست آمده از آب‌اندازی نمونه‌های پنیر

منظور از آب‌اندازی، متراکم شدن شبکه پروتئینی در نتیجه از دست رفتن آب پنیر از دلمه می‌باشد که می‌تواند به‌طور مستقیم کیفیت پنیر را تحت‌تأثیر قرار دهد. به‌بیان دیگر، در طی پنیرسازی، آب‌اندازی میزان رطوبت، مواد معدنی و لاکتوز دلمه را تغییر می‌دهد که بر رسیدن پنیر و بالتبع آن بر ویژگی‌های حسی پنیر تأثیر می‌گذارد. به‌طورکلی، عوامل اصلی تأثیرگذار بر میزان آب‌اندازی نمونه‌های پنیر عبارتند از: pH دلمه، اندازه برش، دمای پخت، سرعت تشکیل اسید، به‌هم زدن مخلوط دلمه و آب پنیر، فشردن دلمه و نمک‌زنی. پیش‌تیمار شیر می‌تواند آب‌اندازی پنیر را تحت‌تأثیر قرار دهد؛ به‌عنوان مثال، حرارت‌دهی بالای شیر (مانند پاستوریزاسیون طولانی مدت) باعث واسرشته شدن پروتئین‌های آب پنیر، کوآگولاسیون ضعیف رنت و کاهش میزان آب‌اندازی نمونه‌های پنیر می‌شود [۱۰].

نتایج آنالیز آماری اثر دو متغیر مستقل آنزیم صمغ فارسی و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر میزان آب‌اندازی نمونه‌های پنیر فرپالوده کم‌چرب در شکل ۲ به‌نمایش درآمده

آب اندازی نشان نداد. با افزایش غلظت آنزیم در پنیر فرپالوده کم چرب، به دلیل افزایش پیوندهای تشکیل شده توسط آنزیم (پیوندهای عرضی و پیوندهای ایزوپپتیدی)، ظرفیت نگهداری آب درون دلمه افزایش می یابد. همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز از طریق پلیمریزاسیون پروتئین های شیر ظرفیت نگهداری آب را افزایش می دهد [۱۲].

بررسی تغییرات آب اندازی در نتیجه افزودن صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز در طی مدت زمان نگهداری شصت روزه در جدول ۲ قابل مشاهده می باشد. به طور کلی، میزان آب اندازی نمونه های پنیر تا روز سی ام نگهداری سرد به طور معناداری کاهش یافت و سپس، تا پایان دوره نگهداری

روندی افزایشی نشان داد. ممکن است این افزایش جداسازی آب پنیر به دلیل انبوه های متراکم^۱ باشد. زیرا مولکول های کازئین حتی در صورت واسرشته شدن انعطاف پذیری بالایی نشان می دهند و تمایل به تشکیل ساختارهای میسلی فشرده-تری دارند که جداسازی آب پنیر را به دنبال دارد. انبوه های متراکم به صورت خود به خودی و در نتیجه متراکم شدن دلمه بدون اعمال هیچ گونه نیروی بیرونی تشکیل شده که منجر به آرایش مجدد شبکه پروتئینی دلمه و جداسازی آب پنیر می-شود [۱۳].

Table 2. The results of analysis of variance (ANOVA) of the effect of different concentration of MTGase and PG on the pH and syneresis of cheese samples during the cold storage.

Parameter	Factor	Storage time (day)		
		1	30	60
pH	MTGase concentration (U)			
	0	4.81 ± 0.09 ^a	4.69 ± 0.11 ^b	4.61 ± 0.06 ^b
	0.50	4.82 ± 0.07 ^a	4.73 ± 0.11 ^{ab}	4.73 ± 0.10 ^a
	1	4.87 ± 0.11 ^a	4.84 ± 0.13 ^a	4.79 ± 0.80 ^a
	PG concentration (%)			
	0	4.90 ± 0.06 ^a	4.84 ± 0.11 ^a	4.74 ± 0.10 ^a
	0.25	4.80 ± 0.05 ^b	4.75 ± 0.10 ^{ab}	4.73 ± 0.13 ^a
	0.50	4.76 ± 0.05 ^b	4.67 ± 0.12 ^b	4.66 ± 0.93 ^a
Syneresis	MTGase concentration (U)			
	0	1.31 ± 0.59 ^a	5.05 ± 0.48 ^b	4.23 ± 1.58 ^a
	0.5	0.68 ± 0.33 ^b	1.77 ± 0.80 ^c	0.14 ± 0.99 ^b
	1	1.55 ± 0.90 ^a	6.29 ± 1.02 ^a	5.81 ± 2.71 ^a
	PG concentration (%)			
	0	1.59 ± 0.75 ^a	5.07 ± 2.24 ^a	4.90 ± 2.89 ^a
	0.25	1.08 ± 0.40 ^{ab}	4.39 ± 1.93 ^a	3.31 ± 3.73 ^{ab}
	0.50	0.88 ± 0.83 ^b	3.65 ± 2.16 ^b	0.98 ± 0.36 ^b

1. Dense aggregates

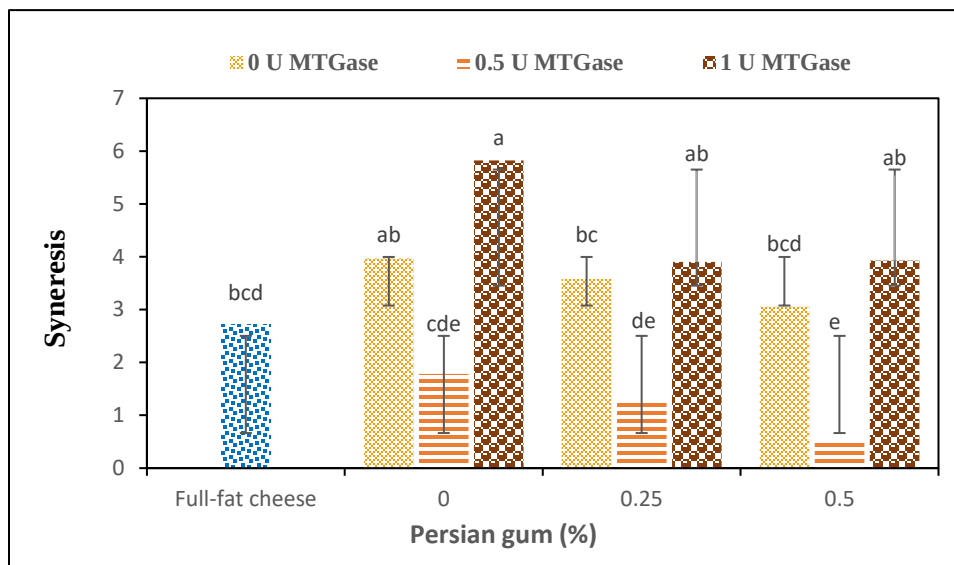


FIG. 2. Effect of different concentration of microbial transglutaminase (MTGase) and Persian gum (PG) on the syneresis of cheese samples

با کاهش میزان چربی، سفتی پنیر افزایش می‌یابد که ممکن است به دلیل کاهش گلبول‌های چربی، سبب ایجاد بافتی لاستیکی در این فراورده لبنی شود. از این رو، ماتریس ساختاری بیشتری در واحد سطح مقطع وجود دارد که سبب تسریع آب‌اندازی می‌گردد. به علاوه، فرایند پروتئولیز در شکل‌گیری ویژگی‌های حسی پنیر همانند بافت و عطر و طعم نقش مهمی ایفا می‌کند [۱۵]. در این پژوهش بافت نمونه‌های پنیر با استفاده از دستگاه بافت‌سنج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از آنالیز پروفیل بافت (TPA) از قبیل سفتی (N)، چسبندگی (N.mm)، پیوستگی، ارتجاع‌پذیری (mm)، حالت صمغی (N) و جویدن‌پذیری (N.mm) نمونه‌های پنیر مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۳-۱ سفتی

از نظر حسی، سفتی نیروی مورد نیاز جهت نفوذ دندان‌های آسیاب به درون نمونه و از نظر مکانیکی، نیروی لازم جهت

در مطالعه مشابه دیگری، تأثیر افزودن صمغ بادام بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی پنیر نرم سارداین^۱ مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این پژوهش کاهش میزان آب‌اندازی را با افزایش غلظت صمغ بادام نشان داد. به گزارش آن‌ها کلسیم موجود در صمغ می‌تواند به تشکیل یک ماتریس کازئینی قوی و حفظ یکپارچگی دلمه کمک کند. بنابراین، افزودن صمغ بادام سبب به حداقل رساندن بی‌نظمی میسل‌ها در ماتریس پنیر و در نتیجه بسته شدن منافذ و کاهش نفوذپذیری این فراورده لبنی می‌شود [۱۴].

۳-۳-۲ نتایج به دست آمده از آنالیز پروفیل بافت (TPA)

نمونه‌های پنیر

عواملی نظیر اجزای تشکیل‌دهنده پنیر و روش فراوری به طور قابل توجهی بافت پنیر را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به طور کلی،

1. Soft Sardinian-type cheese

منجر به تولید فراورده‌ای کم‌چرب با نرم‌ترین بافت و بالاترین بازده تولید می‌شود [۱۸].

۲-۳-۳- چسبندگی

در جدول ۳، نتایج به‌دست‌آمده از میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر مورد آزمایش به‌نمایش درآمده است. از نظر حسی میزان نیروی لازم جهت جداسازی غذا از سقف دهان در حین خوردن و از نظر مکانیکی کار لازم جهت غلبه بر نیروهای چسبندگی میان سطح غذا و سطح سایر مواد در تماس با غذا، به‌عنوان چسبندگی تعریف می‌شود. به‌طور کلی، پنیرهای با محتوای چربی بیشتر، دارای ماتریس پروتئینی ضعیف‌تری می‌باشند که موجب افزایش میزان چسبندگی آن‌ها می‌شود [۱۹]. یافته‌های این پژوهش میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر در طی دوره نگهداری را در محدوده 0.70 N.mm - (نمونه حاوی 0.5% صمغ و 0.5% واحد آنزیم در روز اول نگهداری) تا 0.25 - (نمونه حاوی 0% صمغ و 0 واحد آنزیم در روز سی‌ام نگهداری) نشان داد.

در مطالعه دیگری، نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ویژگی‌های بافتی پنیر سفید فراپالوده سین‌بیوتیک تیمار شده با آنزیم MTGase نشان داد که در مقایسه با نمونه‌های شاهد، نمونه سین‌بیوتیک از میزان چسبندگی بالاتری برخوردار بوده است. به‌طور کلی، می‌توان گفت که در مواد غذایی با ساختار پروتئینی بازتر میزان چسبندگی کمتر می‌باشد. درحقیقت، آنزیم ترانس گلوتامیناز با ایجاد پیوندهای درون و برون - مولکولی باعث فشرده‌تر شدن شبکه پروتئینی میسل‌های کازئینی می‌شود و بدین طریق نیروی چسبندگی در پنیر کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، بالاتر بودن میزان چسبندگی در نمونه سین‌بیوتیک و همچنین نمونه پروبیوتیک در مقایسه با نمونه شاهد غیر پروبیوتیک می‌تواند به دلیل بالاتر بودن تعداد

رسیدن به یک تغییر شکل می‌باشد [۱۶]. در رابطه با نمونه‌های پنیر، سفتی براساس بیشترین نیرو در گاز زدن اول تعریف می‌شود. در طی دوره نگهداری، کمترین و بیشترین میزان سفتی به ترتیب برابر با 2.33 N (نمونه حاوی 0.5% صمغ و 0.5% واحد آنزیم در روز اول نگهداری) و 4.22 (نمونه حاوی 0.5% صمغ و 1 واحد آنزیم در روز سی‌ام نگهداری) اندازه‌گیری شد (جدول ۳). در مغایرت با یافته‌های به‌دست‌آمده از این مطالعه گزارش شده که در مقایسه با نمونه شاهد، تیمار پنیرهای کوآرک با MTGase سبب ایجاد تغییرات معناداری در میزان سفتی آن‌ها نشده است [۵]. در مطالعه دیگری، بسته به غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز تفاوت معناداری میان مقادیر سفتی نمونه‌های پنیر مشاهده شد. نمونه با نسبت آنزیمی 5 U/g پروتئین دارای سفتی مشابه با نمونه شاهد بود، اما در نسبت نسبت آنزیمی 2 U/g ، میزان سفتی به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. علاوه بر سفتی، مقادیر کشسانی، چسبندگی و قدرت گاز زدن^۱ پنیرهای حاوی غلظت‌های بیشتر آنزیم نیز بالاتر از پنیرهای شاهد در طی دوره نگهداری بود [۱۷].

در پژوهشی مشابه، نتایج افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و پروتئین‌های آب پنیر بر ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر سفید کم‌چرب ایرانی، افزایش قابل توجه نسبت رطوبت به پروتئین (M:P) و همچنین کاهش پارامترهای رئولوژیکی سفتی همانند تنش شکست و مدول‌های یانگ و ذخیره‌سازی (G') را نشان داد. باین حال، افزایش غلظت پروتئین‌های آب پنیر و آنزیم ترانس گلوتامیناز تا بالاتر از سطح بحرانی سبب تشکیل ماتریس پنیری با رطوبت کمتر و مقادیر بیشتر شاخص‌های سفتی شد. نتایج بهینه‌سازی متغیرهای فرایند روش سطح پاسخ (RSM) مشخص ساخت که افزودن $4/2 \text{ g}$ پروتئین‌های آب پنیر به 1 L شیر (1.04 w/w چربی) پنیرسازی به همراه 0.833 واحد آنزیم ترانس گلوتامیناز در هر گرم پروتئین شیر

1. Bite strength

باکتری‌های اسید لاکتیک و در نتیجه میزان بالاتر پروتئولیز باشد [۲۰].

به‌علاوه، بررسی اثر افزودن صمغ بادام بر ویژگی‌های بافتی پنیر نرم سارداین، کاهش میزان سفتی و چسبندگی نمونه‌ها را در غلظت‌های مختلف صمغ در مقایسه با پنیرهای تجاری نشان داد. تیمار با صمغ بادام همچنین سایر پارامترهای بافتی از جمله پیوستگی و ارتجاع‌پذیری را تحت-تأثیر قرار داد [۱۴].

۳-۳-۳- پیوستگی

قدرت پیوندهای درونی تشکیل‌دهنده ساختار یک ماده غذایی را پیوستگی گویند. مطابق با نتایج نشان داده‌شده در جدول ۳ می‌توان گفت که میزان پیوستگی نمونه‌های پنیر با گذشت زمان تا پایان دوره نگهداری کاهش یافته است. میزان پیوستگی نمونه‌های پنیر آزمایش‌شده از ۰/۰۳ (نمونه حاوی ۰/۵٪ صمغ و ۰ واحد آنزیم در روز شصت‌ام نگهداری) تا ۰/۵۴ (نمونه حاوی ۰/۰٪ صمغ و ۱ واحد آنزیم در روز اول نگهداری) متغیر بود. نتایج مطالعه مشابهی نشان داد که نمونه پنیر موزارلای کم‌چرب حاوی ۲٪ (w/w) صمغ کتیرا در روز سی‌ام نگهداری دارای پایین‌ترین (۰/۳۸) و نمونه شاهد (نمونه فاقد صمغ) دارای بالاترین میزان پیوستگی (۰/۸۳) بوده است که نقش مهم صمغ را حفظ بافت پنیر موزارلای نشان می‌دهد [۲۱].

یافته‌های به‌دست‌آمده از پژوهش دیگری، افزایش معنادار میزان پیوستگی و ارتجاع‌پذیری نمونه‌های پنیر سفید حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز را در طی دوره شصت‌روزه نگهداری نشان داد و نمونه پنیر حاوی ۶۰ ppm از آنزیم دارای بالاترین مقدار پیوستگی و ارتجاع‌پذیری بود. در مقابل، میزان چسبندگی نمونه‌ها در طی مدت‌زمان نگهداری سرد به-طور معناداری کاهش یافت و کمترین میزان چسبندگی نیز در نمونه حاوی ۶۰ ppm آنزیم مشاهده شد [۲۲].

۴-۳-۳- ارتجاع‌پذیری

در رابطه با ویژگی ارتجاع‌پذیری نمونه‌های پنیر می‌توان گفت که از نقطه‌نظر حسی درجه یا شدت بازگشت به حالت اولیه پس از فشار جزئی در دهان می‌باشد و از نظر مکانیکی میزان تغییر شکلی است که یک نمونه تغییر شکل یافته پس از برداشتن نیرو به حالت اولیه‌اش بازمی‌گردد [۲۳]. در بررسی حاضر مقادیر ارتجاع‌پذیری نمونه‌های پنیر در محدوده mm ۶/۵۵ (نمونه حاوی ۰/۵٪ صمغ و ۰/۵ واحد آنزیم در روز شصت‌ام نگهداری) تا ۸/۹۷ (نمونه حاوی ۰/۰٪ صمغ و ۱ واحد آنزیم در روز اول نگهداری) قرار داشت (جدول ۳).

به‌طور مشابهی، گزارش شده که افزودن TGase به پنیرهای سفید تولیدشده با کیموزین، سبب افزایش مقادیر ارتجاع‌پذیری و جویدن‌پذیری به‌ترتیب به‌میزان ۹٪ و ۱۹٪ شده است. به‌علاوه، میزان پیوستگی نمونه‌های تیمار شده با آنزیم بیشتر از نمونه شاهد بود [۲۴]. بررسی ویژگی‌های بافتی پنیرهای کوارک در طی مدت‌زمان نگهداری نشان داد که میزان ارتجاع‌پذیری تمامی نمونه‌ها در روز اول نگهداری در بالاترین سطح بوده ولی تا پایان دوره به‌طور معناداری کاهش یافته است. بیشترین و کمترین مقدار ارتجاع‌پذیری به‌ترتیب در نمونه شاهد (T0) در روز اول و نمونه T3 (نمونه حاوی ۰/۳ g/L از MTGase و ۰/۰۶ g/L آنزیم لیپاز) در روز دهم مشاهده شد. برخلاف سایر نمونه‌ها، مقدار ارتجاع‌پذیری نمونه T3 در روز بیستم به‌طور معناداری افزایش یافت [۵].

Table 3. The effect of different concentrations of microbial transglutaminase (MTGase) and Persian gum (PG) on the texture of the cheese samples during the cold storage period (Mean $\pm$ SD)

Storage period (days)	PG concentration (%)	MTGase concentration (U)	Textural parameters					
			Hardness (N)	Adhesiveness (N.mm)	Cohesiveness	Springiness (mm)	Gumminess (N)	Chewiness (N.mm)
1	0	0	3.61 $\pm$ 0.07	-0.32 $\pm$ 0.03	0.45 $\pm$ 0.03	7.98 $\pm$ 0.23	1.64 $\pm$ 0.11	13.05 $\pm$ 0.61
	0	0.5	3.38 $\pm$ 0.08	-0.52 $\pm$ 0.04	0.45 $\pm$ 0.04	7.74 $\pm$ 0.22	1.53 $\pm$ 0.14	11.86 $\pm$ 0.93
	0	1	3.91 $\pm$ 0.09	-0.30 $\pm$ 0.03	0.54 $\pm$ 0.05	8.97 $\pm$ 0.15	2.12 $\pm$ 0.15	19.04 $\pm$ 1.08
	0.25	0	3.15 $\pm$ 0.09	-0.44 $\pm$ 0.03	0.42 $\pm$ 0.02	7.70 $\pm$ 0.32	1.34 $\pm$ 0.10	10.29 $\pm$ 0.79
	0.25	0.5	2.91 $\pm$ 0.10	-0.59 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.03	7.49 $\pm$ 0.26	1.22 $\pm$ 0.09	9.15 $\pm$ 0.31
	0.25	1	3.27 $\pm$ 0.06	-0.41 $\pm$ 0.03	0.50 $\pm$ 0.04	8.73 $\pm$ 0.29	1.66 $\pm$ 0.15	14.45 $\pm$ 0.79
	0.5	0	2.86 $\pm$ 0.06	-0.52 $\pm$ 0.03	0.40 $\pm$ 0.02	7.52 $\pm$ 0.27	1.14 $\pm$ 0.04	8.60 $\pm$ 0.31
	0.5	0.5	2.33 $\pm$ 0.12	-0.70 $\pm$ 0.04	0.40 $\pm$ 0.01	7.39 $\pm$ 0.23	0.94 $\pm$ 0.07	6.95 $\pm$ 0.36
	0.5	1	2.98 $\pm$ 0.07	-0.46 $\pm$ 0.04	0.48 $\pm$ 0.04	8.49 $\pm$ 0.26	1.45 $\pm$ 0.08	12.28 $\pm$ 0.35
30	0	0	4.15 $\pm$ 0.16	-0.25 $\pm$ 0.03	0.42 $\pm$ 0.03	7.91 $\pm$ 0.31	1.77 $\pm$ 0.04	13.98 $\pm$ 0.29
	0	0.5	3.66 $\pm$ 0.29	-0.45 $\pm$ 0.04	0.42 $\pm$ 0.03	7.64 $\pm$ 0.27	1.53 $\pm$ 0.15	11.69 $\pm$ 0.86
	0	1	4.23 $\pm$ 0.23	-0.28 $\pm$ 0.03	0.50 $\pm$ 0.04	8.87 $\pm$ 0.06	2.11 $\pm$ 0.21	18.75 $\pm$ 1.80
	0.25	0	3.44 $\pm$ 0.11	-0.29 $\pm$ 0.01	0.39 $\pm$ 0.01	7.69 $\pm$ 0.45	1.43 $\pm$ 0.07	10.32 $\pm$ 0.69
	0.25	0.5	3.18 $\pm$ 0.15	-0.49 $\pm$ 0.04	0.37 $\pm$ 0.03	7.49 $\pm$ 0.34	1.20 $\pm$ 0.06	8.95 $\pm$ 0.16
	0.25	1	3.68 $\pm$ 0.10	-0.30 $\pm$ 0.03	0.47 $\pm$ 0.03	8.64 $\pm$ 0.28	1.74 $\pm$ 0.12	15.01 $\pm$ 0.63
	0.5	0	3.07 $\pm$ 0.10	-0.39 $\pm$ 0.02	0.37 $\pm$ 0.01	7.53 $\pm$ 0.40	1.16 $\pm$ 0.07	8.72 $\pm$ 0.72
	0.5	0.5	2.76 $\pm$ 0.23	-0.53 $\pm$ 0.02	0.40 $\pm$ 0.03	7.31 $\pm$ 0.27	1.12 $\pm$ 0.17	8.17 $\pm$ 1.37
	0.5	1	3.04 $\pm$ 0.13	-0.36 $\pm$ 0.03	0.44 $\pm$ 0.03	8.32 $\pm$ 0.20	1.35 $\pm$ 0.12	11.21 $\pm$ 0.74
60	0	0	3.42 $\pm$ 0.77	-0.28 $\pm$ 0.03	0.39 $\pm$ 0.03	7.75 $\pm$ 0.19	1.33 $\pm$ 0.27	10.27 $\pm$ 2.03
	0	0.5	3.46 $\pm$ 0.19	-0.48 $\pm$ 0.04	0.40 $\pm$ 0.01	7.58 $\pm$ 0.25	1.41 $\pm$ 0.07	10.67 $\pm$ 0.67
	0	1	4.04 $\pm$ 0.16	-0.33 $\pm$ 0.04	0.46 $\pm$ 0.03	8.71 $\pm$ 0.13	1.89 $\pm$ 0.15	16.44 $\pm$ 1.50
	0.25	0	3.25 $\pm$ 0.17	-0.32 $\pm$ 0.01	0.37 $\pm$ 0.02	7.31 $\pm$ 0.17	1.21 $\pm$ 0.04	8.86 $\pm$ 0.12
	0.25	0.5	2.97 $\pm$ 0.09	-0.53 $\pm$ 0.03	0.39 $\pm$ 0.02	7.05 $\pm$ 0.08	1.16 $\pm$ 0.04	8.16 $\pm$ 0.23
	0.25	1	3.54 $\pm$ 0.20	-0.33 $\pm$ 0.02	0.44 $\pm$ 0.02	8.28 $\pm$ 0.23	1.56 $\pm$ 0.11	12.90 $\pm$ 0.59
	0.5	0	2.95 $\pm$ 0.22	-0.39 $\pm$ 0.02	0.34 $\pm$ 0.02	7.06 $\pm$ 0.06	1.00 $\pm$ 0.05	7.06 $\pm$ 0.41
	0.5	0.5	2.67 $\pm$ 0.09	-0.60 $\pm$ 0.02	0.36 $\pm$ 0.00	6.56 $\pm$ 0.91	0.96 $\pm$ 0.04	6.29 $\pm$ 0.28
	0.5	1	3.01 $\pm$ 0.13	-0.39 $\pm$ 0.03	0.40 $\pm$ 0.02	7.70 $\pm$ 0.14	1.21 $\pm$ 0.06	9.34 $\pm$ 0.25

۵-۳-۳- حالت صمغی

نمونه‌ها شده، اما کاهش بیشتر میزان چربی تأثیری منفی بر چنین ویژگی‌هایی دارد. دلایل این اثرات کاهش میزان صمغی بودن، قابلیت جویدن، چسبندگی، ارتجاع‌پذیری و فشردگی است [۲۵]. به علاوه، مقادیر قابلیت جویدن کمتری در پنیرهای نرم‌تر گزارش شده است که به دلیل نیروی موردنیاز کمتر برای جویدن در هنگام نرم‌شدن بافت پنیر می‌باشد. این نتایج بر رابطه میان نیروی جویدن و استحکام پنیر بر اهمیت بافت برای تجربه حسی در طی مصرف تأکید می‌کند [۲۶].

۴- نتیجه‌گیری

امروزه نقش برجسته مواد غذایی تخمیری و به‌ویژه فراورده‌های تخمیری لبنی در بهبود سلامتی انسان و پیشگیری از بیماری‌های مختلف بر کسی پوشیده نیست. از سوی دیگر، مصرف فراورده‌های غذایی پُرچرب ابتدا به انواع بیماری‌های قلبی عروقی، پُرفشاری خون، چاقی، دیابت و غیره را به دنبال دارد. به علاوه، کاهش میزان چربی در فراورده‌های تخمیری لبنی، دارای اثراتی منفی بر بافت، ظاهر و ویژگی‌های حسی این فراورده‌ها می‌باشد. از این رو، می‌توان با استفاده از غلظت‌های مناسب هیدروکلوئیدها به عنوان جایگزین‌های چربی و آنزیم‌هایی نظیر ترانس گلوتامیناز به رفع چنین مشکلاتی کمک کرد. یافته‌های این مطالعه مشخص ساخت که در مقایسه با نمونه شاهد، نمونه‌های تیمار شده با PG دارای مقادیر pH کمتری می‌باشند ($p < 0.05$). علاوه بر این، افزودن MTGase افزایش معنادار مقادیر pH را به دنبال داشت ($p < 0.05$). مقادیر pH نمونه‌ها از ۴/۶۴ تا ۴/۸۹ متغیر بود. همچنین براساس نتایج به دست آمده، کمترین و بیشترین میزان سفتی به ترتیب برابر با ۲/۳۳ N و ۴/۲۳ اندازه‌گیری شد. یافته‌های این پژوهش میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر در طی دوره نگهداری را در محدوده ۰/۷۰۳ N.mm تا ۰/۲۵۷- نشان داد. میزان پیوستگی نمونه‌های پنیر از ۰/۳۴ تا ۰/۵۴ متغیر بود. به علاوه، مقادیر ارتجاع‌پذیری نمونه‌های پنیر در محدوده

منظور از حالت صمغی، انرژی موردنیاز جهت خرد کردن یک ماده غذایی نیمه‌جامد تا هنگام آماده‌شدن برای بلع می‌باشد [۲۰]. به همین ترتیب مطابق با نتایج نشان داده شده در جدول ۳، مقادیر صمغی بودن نمونه‌های پنیر در طی دوره نگهداری از ۰/۹۴ N (نمونه حاوی ۰/۵٪ صمغ و ۰/۵ واحد آنزیم در روز اول نگهداری) تا ۲/۱۲ (نمونه حاوی ۰٪ صمغ و ۱ واحد آنزیم در روز اول نگهداری) اندازه‌گیری شد. یافته‌های مطالعه انجام‌شده دیگری، تأثیر خطی و معنادار متغیرهای وابسته غلظت‌های متفاوت چربی، دانه ریحان و صمغ زانتان بر حالت صمغی پنیر خامه‌ای کم‌چرب را نشان داد. بیشترین میزان صمغی بودن (۴/۳۳ N) در پنیر حاوی کمترین میزان چربی (۱۶٪) و بدون هیچ‌گونه صمغ ریحان و زانتان مشاهده گردید؛ در حالی که، کمترین مقدار صمغی بودن (۰/۵ N) در نمونه حاوی ۲۴٪ چربی، ۰/۵٪ دانه ریحان و ۰/۵٪ صمغ زانتان اندازه‌گیری شد. به علاوه، مشخص شده است که استفاده از صمغ زانتان و غلظت‌های پایین کازئینات سدیم سبب کاهش حالت صمغی پنیر چدار کم‌چرب و پنیر موزارلا می‌گردد [۹].

۶-۳-۳- قابلیت جویدن

جویدن‌پذیری، کار لازم برای جویدن و خمیر کردن ماده غذایی در هنگام بلع است و از حاصل ضرب ارتجاع‌پذیری در میزان صمغی بودن محاسبه می‌گردد [۲۰]. در این پژوهش، کمترین و بیشترین مقادیر قابلیت جویدن نمونه‌های پنیر مورد آزمایش به ترتیب برابر با ۶/۲۹ N.mm (نمونه حاوی ۰/۵٪ صمغ و ۰/۵ واحد آنزیم در روز شصت‌ام نگهداری) و ۱۹/۰۴ (نمونه حاوی ۰٪ صمغ و ۱ واحد آنزیم در روز اول نگهداری) بود (جدول ۳). علاوه بر این، در بررسی انجام‌شده دیگری، میزان سفتی، پیوستگی و حالت صمغی نمونه پنیر فتا شاهد به ترتیب ۱۰/۳۵ N، ۰/۲۸ و ۳ به دست آمد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که کاهش چربی پنیر از ۱۸٪ به ۱۴٪ سبب بهبود ویژگی‌های حسی و بافت

فارسی و همچنین مقدار ۰/۵ واحد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی پنیری با کیفیت مطلوب تولید نمود.

۵- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب سپاس خود را از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بابت پشتیبانی مالی از این تحقیق اعلام می‌دارند.

۶- منابع

- [1] Zhang, M., Dong, X., Huang, Z., Li, X., Zhao, Y., Wang, Y., Zhu, H., Fang, A. and Giovannucci, E.L. 2023. Cheese consumption and multiple health outcomes: An umbrella review and updated meta-analysis of prospective studies. *Advances in Nutrition*, 14(5), 1170-1186.
- [2] Bohamid, A. Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., and Barzegar, H. 2023. The effect of transglutaminase enzyme and carrageenan gum on sensory, textural and microbial properties of low fat ultrafiltrated cheese. *Iranian Journal of Food Sciences and Industries*, 20(139), 1-12.
- [3] Jooyandeh, H., Noshad, M., and Khamirian, R.A. 2018. Modeling of ultrasound-assisted extraction, characterization and in vitro pharmacological potential of polysaccharides from *Vaccinium arctostaphylos* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107 (part A), 938-948.
- [4] Hedayati, S., Ansarifar, E., Tarahi, M., Tahsiri, Z., Baeghbali, V. and Niakousari, M., 2023. Influence of Persian gum and almond gum on the physicochemical properties of wheat starch. *Gels*, 9(6), 460.
- [5] Seyed-Moslemi, S.A., Hesari, J., Peighambardoust, S.H. and Peighambardoust, S.J. 2021. Effect of microbial lipase and transglutaminase on the textural, physicochemical, and microbial parameters of fresh quark

mm ۶/۵۶ تا ۸/۹۷ قرار داشت. مقادیر صمغی بودن نمونه‌های پنیر در طی دوره نگهداری از ۰/۹۴ N تا ۲/۱۲ اندازه‌گیری شد. علاوه‌براین، کمترین و بیشترین مقادیر قابلیت جویدن به‌ترتیب برابر با ۶/۲۹ N.mm و ۱۹/۰۴ بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از سطوح مناسب صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی سبب کاهش میزان آب-اندازی نمونه‌های پنیر و همچنین بهبود ویژگی‌های بافتی آن-ها نظیر سفتی، جویدن‌پذیری و غیره می‌شود. بنابر نتایج این تحقیق، می‌توان با استفاده از سطوح ۰/۲۵ تا ۰/۵ درصد صمغ

cheese. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7489-7499.

- [6] Jooyandeh, H., Goudarzi, M., Rostamabadi, H. and Hojjati, M. 2017. Effect of Persian and almond gums as fat replacers on the physicochemical, rheological, and microstructural attributes of low-fat Iranian White cheese. *Food Science & Nutrition*, 5(3), 669-677.
- [7] Mosallaie, F., Jooyandeh, H., Hojjati, M. and Fazlara, A. 2020. Biological reduction of aflatoxin B₁ in yogurt by probiotic strains of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus*. *Food Science and Biotechnology*, 29(6), 793-803.
- [8] Palyvou-Gianna, E., Vilela, T.P., Gomes, A.M. and Ferreira, J.P. 2021. A starch-milk paste enables the incorporation of ripened cheese in novel fresh cheese. *Food Technology and Biotechnology*, 59(4), 507-518.
- [9] Portaghi, J., Heshmati, A., Taheri, M., Ahmadi, E. and Khaneghah, A.M. 2023. Effect of basil seed and xanthan gum on physicochemical, textural, and sensory characteristics of low-fat cream cheese. *Food Science & Nutrition*, 11(10), 6060-6072.
- [10] Panthi, R.R., Kelly, A.L., Sheehan, J.J., Bulbul, K., Vollmer, A.H. and McMahon, D.J. 2019. Influence of protein concentration and coagulation temperature on rennet-induced gelation characteristics and curd microstructure. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 177-189.

- [11] Ghaderi-Ghahfarokhi, M., Yousefvand, A., Ahmadi Gavlighi, H., Zarei, M. and Farhangnia, P. 2020. Developing novel synbiotic low-fat yogurt with fucoxylogalacturonan from tragacanth gum: Investigation of quality parameters and *Lactobacillus casei* survival. *Food Science & Nutrition*, 8(8), 4491-4504.
- [12] Sulaiman, N.S., Sintang, M.D., Zaini, H.M., Munsu, E., Matanjun, P. and Pindi, W. 2022. Applications of protein crosslinking in food products. *International Food Research Journal*, 29(4), 723-739.
- [13] Pham, T.H., Pham, K.C., Huynh, A.T., Thi, N.U.L. and Trinh, K.S. 2021. Effect of transglutaminase on quality properties of fresh cheese. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 8(4), 44-53.
- [14] Ghamgui, H., Bouaziz, F., Frikha, F., Châari, F. and Ellouze-Chaâbouni, S. 2021. Production and characterization of soft Sardinia-type cheese by using almond gum as a functional additive. *Food Science & Nutrition*, 9(4), 2032-2041.
- [15] Kaczyński, Ł.K., Cais-Sokolińska, D., Bielska, P., Teichert, J., Biegalski, J., Yiğit, A. and Chudy, S. 2023. The influence of the texture and color of goat's salad cheese on the emotional reactions of consumers compared to cow's milk cheese and Feta cheese. *European Food Research and Technology*, 249(5), 1257-1272.
- [16] Ilić, J., Djekic, I., Tomasevic, I., Oosterlinck, F. and van den Berg, M.A. 2022. Materials properties, oral processing, and sensory analysis of eating meat and meat analogs. *Annual Review of Food Science and Technology*, 13, 193-215.
- [17] Ceren Akal, H. 2023. Transglutaminase induced whey cheese production: impact of different ratios on yield, texture, and sensory properties. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 73(4), 225-237.
- [18] Danesh, E., Goudarzi, M. and Jooyandeh, H. 2018. Transglutaminase-mediated incorporation of whey protein as fat replacer into the formulation of reduced-fat Iranian white cheese: Physicochemical, rheological and microstructural characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2416-2425.
- [19] Ivanov, G., Markova, A., Zsivanovits, G. and Ivanova, M. 2021. Effect of storage temperatures on Kashkaval texture. *Ukrainian Food Journal*, 10(2).
- [20] Torabi, F., Jooyandeh, H., Noshad, M. and Barzegar, H. 2020. Texture, color and sensory characteristics of synbiotic ultrafiltrated white cheese treated with microbial transglutaminase enzyme during storage period. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 17(98), 135-145.
- [21] Mazloumi, M., Asadollahi, S. and Nateghi, L. 2022. Physicochemical, rheological, and sensory properties of low-fat Mozzarella cheese formulated with tragacanth gum. *Human, Health and Halal Metrics*, 3(1), 21-36.
- [22] Razeghi, F. and Yazdanpanah, S. 2020. Effects of free and encapsulated transglutaminase on the physicochemical, textural, microbial, sensorial, and microstructural properties of white cheese. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3750-3758.
- [23] Bolhuis, D.P. and Forde, C.G. 2020. Application of food texture to moderate oral processing behaviors and energy intake. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 445-456.
- [24] García-Gómez, B., Vázquez-Odériz, M.L., Muñoz-Ferreiro, N., Romero-Rodríguez, M.Á. and Vázquez, M. 2019. Interaction between rennet source and transglutaminase in white fresh cheese production: Effect on physicochemical and textural properties. *LWT*, 113, 108279.
- [25] Lisak Jakopović, K., Barukčić, I., Božić, A. and Božanić, R. 2020. Production of Feta cheese with a reduced salt content. *Food in Health and Disease, scientific-professional journal of nutrition and dietetics*, 9(1), 9-15.
- [26] Kaminarides, S., Zagari, H. and Zoidou, E. 2020. Effect of whey fat content on the properties and yields of whey cheese and serum. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 71(2), 2149-2156.



Scientific Research

Impact of addition of Persian gum and microbial transglutaminase enzyme on the textural characteristics of semi-fat ultrafiltrated white cheese

Seyedeh Ameneh Habibi¹, Hossein Jooyandeh^{*2}

1. M.Sc. student, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

2. Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2024/3/26

Accepted: 2024/5/8

Keywords:

Enzymatic treatment,
Fat replacer,
Syneresis,
Texture profile analysis

DOI: 10.22034/FSCT.21.156.110.

*Corresponding Author E-
hosjooy@asnrukh.ac.ir

The current investigation was conducted to study the effect of Persian gum (PG) and microbial transglutaminase (MTGase) on textural characteristics of ultrafiltrated semi-fat white cheese during 60 days of cold storage. In order to produce semi-fat cheeses, PG was used at three levels of 0, 0.25, and 0.5% and MTGase enzyme at three levels of 0, 0.5 and 1 unit (U) per gram of protein. Cheese samples without any treatment were considered as control samples. The findings of this study revealed that addition of PG, opposite to MTGase, caused a significant reduction of the cheese pH values ($p < 0.05$). During the storage period, the pH values of all cheese samples decreased, but statistically there was a significant difference only between the first and 30th days of storage. During the storage period, the addition of PG led to a decrease in the amount of hydration of the samples until the 30th day of storage, but then the amount of hydration of the samples increased until the end of the 60th day. The results obtained from the analysis of the texture characteristics revealed that MTGase treatment up to 0.5 U decreased the firmness, gumminess, springiness and chewability and increased the adhesiveness of the cheese samples, but using a higher amount of the enzyme (1 U) caused a significant contrary change in the mentioned trend ($p > 0.001$). Also, the addition of PG decreased the firmness, cohesiveness, gumminess, springiness and chewability and increased the adhesiveness of the cheese samples ($p < 0.001$). In general, with the passage of time during the cold storage, all the textural parameters, except adhesiveness, decreased significantly. The results of this research showed that it is possible to produce cheese with good quality by using the levels of 0.25 to 0.5% PG and 0.5 unit of MTGase.