



بررسی تأثیر صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های حسی، رنگ و میکروبی پنیر سفید فراپالوده نیم‌چرب طی دوره نگهداری سرد

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
<p>تاریخ های مقاله :</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۹</p>	<p>مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر صمغ فارسی (PG) و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTGase) بر ویژگی‌های حسی، رنگ و میکروبی پنیر سفید فراپالوده نیم‌چرب طی مدت ۶۰ روز نگهداری در یخچال انجام گرفت. به منظور تولید نمونه‌های پنیر نیم‌چرب از PG در سه سطح ۰، ۰/۲۵، ۰/۵٪ و آنزیم MTGase در سه سطح ۰، ۰/۵ و ۱ واحد (به ازای هر گرم پروتئین ناتراوه) استفاده گردید. نتایج مشخص ساخت که تیمار نمونه‌های پنیر با PG و آنزیم MTGase تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های حسی و کیفی این فراورده لبنی داشته است. به‌طورکلی، تیمار حاوی ۰/۵٪ PG و ۰/۵ واحد آنزیم MTGase بالاترین امتیازات حسی را توسط ارزیاب‌ها کسب کرد. براساس نظرات ارزیاب‌ها، طی مدت‌زمان نگهداری ویژگی‌های حسی عطر و طعم و بافت افزایش یافت و در مقابل امتیازات رنگ و ظاهر نمونه‌های پنیر کاهش یافت. نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز شاخص‌های رنگی مشخص ساخت که میزان روشنایی (L*) نمونه‌های پنیر با افزودن PG و تیمار آنزیمی MTGase افزایش و با گذشت مدت‌زمان نگهداری سرد کاهش یافت. برخلاف پارامتر روشنایی (L*)، متغیرهای PG و آنزیم MTGase اثر معناداری بر شاخص‌های a* (قرمزی-سبزی) و b* (زردی-آبی) نمونه‌های پنیر مورد آزمایش نداشتند. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های میکروبی نشان داد که افزودن PG سبب افزایش زنده‌مانی باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB) شد اما تأثیری بر شمارش کپک و مخمرها نداشت. از سوی دیگر، افزایش غلظت آنزیم سبب کاهش رشد و زنده‌مانی میکروارگانیسم‌های مورد مطالعه گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که می‌توان از PG به‌عنوان یک جایگزین چربی به‌همراه آنزیم MTGase جهت تولید پنیر سفید فراپالوده کم‌چرب با ویژگی‌های تکنولوژیکی و حسی مطلوب قابل مقایسه با انواع پرچرب استفاده کرد و بهترین نمونه‌ی پنیر فراپالوده نیم‌چرب با استفاده از تیمار حاوی ۰/۵٪ PG و ۰/۵ واحد آنزیم MTGase به‌دست می‌آید.</p>
<p>کلمات کلیدی:</p> <p>جایگزین چربی، MTGase، روشنایی، حسی، دوره نگهداری سرد</p>	
<p>DOI:10.22034/FSCT.21.156.92.</p> <p>* مسئول مکاتبات: hosjooy@asnruk.ac.ir</p>	

۱- مقدمه

از مهم‌ترین ترکیبات طعم‌دهنده پنیر به‌شمار می‌آیند [۵]. بنابراین، استفاده از جایگزین‌های چربی می‌تواند راه‌حل امیدوارکننده‌ای به‌منظور بهبود ویژگی‌های ساختاری و مکانیکی فرآورده‌های غذایی کم‌چرب باشد [۶]. درحقیقت، جایگزین‌های چربی گروهی از اجزای تشکیل‌دهنده مواد غذایی هستند که می‌توانند ویژگی‌های فیزیکی، رئولوژیکی و حسی مشابه چربی موجود در فرآورده‌های غذایی مختلف را تقلید کنند، اما در مقایسه با چربی‌ها، دارای کالری کمتری می‌باشند [۷].

صمغ‌ها، یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین جایگزین‌های چربی در انواع فرآورده‌های غذایی هستند که در صنایع لبنی نیز کاربرد گسترده‌ای دارند [۷-۱۰]. صمغ فارسی (PG^2)، صمغ آبیونی استخراج‌شده از تنه و شاخه‌های درخت بادام وحشی (نام علمی: *Amygdalus scoparia*) است. این هیدروکلوئید همچنین به‌نام‌های صمغ زدو و صمغ شیرازی شناخته می‌شود. از نظر ساختاری، صمغ فارسی یک پلی-ساکارید بسیار منشعب متشکل از گالاکتوز و آرابینوز به‌عنوان مونوساکاریدهای اصلی به‌همراه مقادیر کمتری از رمانوز، مانوز و زایلوز است [۱۱]. امروزه با توجه به ویژگی‌های این صمغ و قابلیت آن در ایجاد قوام، پایدارکنندگی و امولسیون‌کنندگی، استفاده از آن در صنعت غذا مورد توجه قرار گرفته است [۶]. در مطالعه‌ای انجام شده در همین رابطه، تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ فارسی بر آب‌اندازی، ویژگی‌های بافتی و رئولوژیکی پنیر سفید آب‌نمکی فراپالوده در طی مدت‌زمان رسیدن مورد مطالعه قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده استفاده از صمغ فارسی منجر به کاهش ۲۶ تا ۴۴ درصدی آب‌اندازی نمونه‌های حاوی صمغ درمقایسه‌با به نمونه شاهد در پایان دوره رسیدن شد. با افزایش غلظت صمغ، کاهش معناداری در میزان آب‌اندازی، سفتی، چسبندگی، مدول الاستیک و مدول ویسکوز پنیرها مشاهده گردید؛ درحالی‌که، میزان ارتجاع‌پذیری پنیرها به‌طور

برای نخستین بار در حدود ۸۰۰۰ سال پیش، پنیر در جریان انقلاب کشاورزی در مناطقی از عراق، میان رود فرات و دجله، معروف به هلال حاصلخیز^۱ تولید شد. به‌طورکلی، پنیر یک فرآورده لبنی تخمیری سرشار از مواد مغذی و هضم‌پذیر است که به‌طور گسترده‌ای در سرتاسر جهان به‌مصرف می‌رسد. باین‌حال، اثرات مصرف پنیر بر سلامتی انسان‌ها همچنان یک موضوع بحث‌برانگیز است. ازیک‌سو، پنیر به‌عنوان منبعی غنی از پروتئین‌های با کیفیت بالا (عمدتاً کازئین)، لیپیدها، مواد معدنی (همانند کلسیم، فسفر و منیزیم)، ویتامین‌ها (نظیر ویتامین A، K₂، B₂، B₁₂ و فولات)، پروبیوتیک‌ها و مولکول‌های زیست‌فعال (مانند پپتیدهای زیست‌فعال، لاکتوفرین و اسیدهای چرب کوتاه زنجیره) شناخته می‌شود که مصرف آن اثرات سلامت‌بخش بیشتری را به‌دنبال دارد. ازسوی دیگر، پنیر حاوی مقادیر نسبتاً بالایی از چربی‌های اشباع و نمک است که به‌عنوان ترکیبات غذایی نامطلوب برای سلامتی قلب و عروق تلقی می‌شوند [۱]. در حال حاضر، اغلب دستورالعمل‌های غذایی مصرف فرآورده‌های لبنی را به‌عنوان بخشی از یک رژیم غذایی سالم توصیه می‌کنند. درعین‌حال، می‌باید از مصرف انواع مواد غذایی پرچرب و پرسدیم اجتناب نمود. درهرحال، فرآورده‌های لبنی کامل مجموعه‌ای از مواد مغذی قابل‌جداسازی نمی‌باشند، بلکه ساختارهای فیزیکی و تغذیه‌ای پیچیده‌ای دارند. به‌عنوان مثال، ماتریس لبنی بر هضم‌پذیری و زیست‌فراهمی مواد مغذی تأثیر گذار است؛ درنتیجه مصرف لبنیات می‌تواند سلامت و بیماری انسان را تحت تأثیر قرار دهد [۲].

ازسوی دیگر، چربی نقش مهمی را در ایجاد ویژگی‌های مطلوب مکانیکی، حسی و رنگ برخی از فرآورده‌های لبنی ازجمله پنیر ایفا می‌کند [۳]. درحقیقت، چربی به‌عنوان یک عامل نرم‌کننده در ماتریس کازئینی عمل می‌کند و باعث کاهش استحکام مکانیکی و نرم‌شدگی بافت پنیر می‌شود [۴]. علاوه‌براین، اسیدهای چرب آزاد تولیدشده از طریق لیپولیز،

دستیابی به بالاترین میزان مواد جامد و محتوای پروتئین کل در پنیر نرم گردید [۱۴]. در مطالعه مشابه دیگری، تأثیر افزودن غلظت‌های مختلف MTGase و زمان‌های مختلف پخت بر ویژگی‌های پنیر موزارای آنالوگ مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که ویژگی ایجاد پیوندهای عرضی توسط آنزیم به‌طور معناداری سبب بهبود رنگ، بافت، ریزساختار و ذوب‌پذیری پنیر در غلظت ۲/۵U پروتئین و زمان پخت ۲۰ min شده است. غلظت TGase، زمان پخت و ترکیب این عوامل به‌طور معناداری شاخص‌های رنگ (L^* ، a^* و b^*) و ویژگی‌های بافت (سفتی، چسبندگی، ارتجاع‌پذیری، حالت صمغی و غیره) را تحت تأثیر قرار داد، اما تأثیر معناداری بر مقادیر pH نداشت [۱۵]. با توجه به مطالب ذکر شده، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر برخی ویژگی‌های حسی و میکروبی پنیر سفید فرآلوده کم‌چرب انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

نمونه‌های پنیر فرآلوده با استفاده از ناتراوه تولیدی در کارخانه پگاه خوزستان واقع در کیلومتر ۳ جاده شوش-دزفول تولید شدند. تمامی آزمایشات مربوط به ارزیابی حسی و میکروبی در آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی و در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام گرفت. پودر کنسانتره پروتئینی شیر (حاوی حداکثر ۵٪ رطوبت، حداقل ۷۰٪ پروتئین، ۱۶/۵٪ لاکتوز، ۸٪ خاکستر، و ۱/۳٪ چربی) از شرکت پگاه خراسان تهیه شد. صمغ فارسی (PG) از یک مغازه محلی در ملاثنی تهیه شد و پس از تمیز کردن و 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

معناداری افزایش یافت. نمونه‌های حاوی صمغ دارای بیشترین میزان سفتی، مدول الاستیک و مدول ویسکوز در روز چهل‌وپنجم رسیدگی بودند، اما پیوستگی و ارتجاع-پذیری روند کاهشی را در طی رسیدن نشان دادند [۱۲].

به‌علاوه، در صنایع غذایی از آنزیم‌های متنوعی جهت بهبود ویژگی‌های تکنولوژیکی، افزایش ارزش تغذیه‌ای و راندمان تولید فرآورده‌های مختلف استفاده می‌شود. آنزیم ترانس گلوتامیناز (TG^2)، پروتئین-گلوتامین-ε-گلوتامیل-ترانسفراز، (EC 2.3.2.13)، یکی از آنزیم‌های پرکاربرد در صنایع پنیرسازی است. نخستین بار این آنزیم در سال ۱۹۵۷ از کبد خوکچه هندی جداسازی گردید. پس از آن، ترانس-گلوتامیناز در سایر موجودات زنده مانند مخمرها، گیاهان، موجودات دریایی، بی‌مهرگان، دوزیستان و پرندگان توصیف شد. امروزه، منبع اصلی تولید آنزیم ترانس گلوتامیناز، میکروارگانیسم‌ها می‌باشند. به‌طور کلی، ترانس گلوتامینازها خانواده‌ای از آنزیم‌های ترانسفراز هستند که پیوندهای عرضی میان گروه‌های ۷-کربوکسی‌آمید باقیمانده‌های گلوتامین و گروه‌های ε-آمینو باقیمانده‌های لیزین در زنجیره‌های پلی‌پپتیدی را کاتالیز کرده و پیوندهای ۷-ε-گلوتامیل) لیزین (G-L) تشکیل می‌دهند. با تشکیل ساختار شبکه‌ای پروتئینی از طریق ایجاد پیوندهای G-L، می‌توان ویسکوزیته محلول‌های پروتئینی را افزایش داد یا باعث ژله‌ای شدن آن‌ها شد [۱۳]. همچنین، یکی از استراتژی‌های کارآمد در زمینه افزایش نسبت رطوبت به پروتئین در پنیرهای کم‌چرب، تیمار شیر مورد استفاده در پنیرسازی با آنزیم ترانس گلوتامیناز می‌باشد [۳]. نشان داده شده است که در مقایسه با پنیرهای گروه شاهد، نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTGase) دارای محتوای رطوبتی، بازده تولید و سفتی بیشتری می‌باشند [۳ و ۷]. به-علاوه، افزودن MTGase باعث بهبود احساس دهانی، ویژگی‌های بافتی و پذیرش کلی نمونه‌های پنیر می‌شود [۳ و ۷]. برای مثال، تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز با ۸۰ واحد آنزیم (به ازای هر گرم پروتئین) و مدت‌زمان ۲۰ دقیقه، سبب

از دستگاه هموژنایزر (Ronghemachinery, JHG-Q60-P60، چین) همگن شده و در دمای 75°C به مدت ۱۵ ثانیه حرارت داده شد. آنزیم ترانس گلوتامیناز (MTGase) نیز در سطوح ۰، ۰/۵ و ۱ واحد (به ازای هر گرم پروتئین ناتراوه) اضافه شد. سپس، ناتراوه در ظروف ۱۰۰ سی سی پنیپر پر شد و مقدار ۳٪ از مخلوط کشت آغازگر و مایه رنت پنیپر به مخلوط ناتراوه تهیه شده اضافه گردید. در ادامه، ظروف به تونل تشکیل دلمه یا منعقدکننده^۶ با دمای حدود 30°C وارد شد و پس از خروج از تونل، بر سطح نمونه‌های پنیپر کاغذ مقاوم به چربی قرار داده شده و به میزان ۲٪ (وزنی/وزنی) نمک طعام به آن افزوده شد. پس از درب‌بندی ظروف پنیپر با فویل آلومینیوم، در پایان ظروف پنیپر به گرم‌خانه با دمای $37-35^{\circ}\text{C}$ منتقل شدند تا پس از گذشت ۲۴-۱۸ ساعت pH به حدود ۴/۸ تنزل یابد. در نهایت نمونه‌ها به سردخانه با دمای 5°C منتقل شدند و آزمون‌های حسی، رنگ‌سنجی و میکروبی روی پنیپر انجام شد.

۲-۳- ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی نمونه‌های پنیپر نظیر رنگ و ظاهر، عطر و طعم و بافت توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش دیده مورد بررسی قرار گرفت. پیش از انجام آزمون، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفتند تا در هنگام ارزیابی، دمای تمامی نمونه‌ها یکسان بوده و نتایج ارزیابی حسی تحت تأثیر قرار نگیرد [۶].

۲-۴- ارزیابی رنگ

به منظور سنجش رنگ نمونه‌های پنیپر از دستگاه رنگ‌سنج هانتربل (CR-400, Minolta, Japan) استفاده شد. شاخص‌های رنگی مورد بررسی شامل L^* (روشنایی)، a^* (قرمزی-سبزی) و b^* (زردی-آبی) بودند [۶].

۲-۵- آزمون‌های میکروبی

۲-۵-۱- شمارش باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB)

Ingredients (خیرونا، اسپانیا) تهیه شد. محیط‌کشت‌های YGC آگار و MRS آگار از شرکت Merck (دارمشتات، آلمان) خریداری شدند.

۲-۲- تولید نمونه‌های پنیپر کم‌چرب با استفاده از روش

فراپالایش

تمامی نمونه‌های پنیپر فراپالوده در کارخانه لبنی پگاه خوزستان مطابق روش نصرتی^۴ و همکاران [۱۶] تولید شدند. جهت تولید پنیپر از شیر تازه گاو با کیفیت بالا استفاده گردید. پس از دریافت شیر توسط کارخانه، دمای آن به وسیله مبدل حرارتی صفحه‌ای به حدود 5°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 دمای شیر تا 50°C افزایش یافت. پس از انتقال شیر به دستگاه خامه‌گیر و تنظیم چربی آن به مقدار 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 72°C به مدت ۱۵ s پاستوریزه شد و پس از سرد کردن آن به وسیله مبدل حرارتی صفحه‌ای تا دمای حدود 5°C ، شیر پاستوریزه در مخازن ذخیره گردید. به منظور تولید پنیپر فراپالوده، در ابتدا شیر پاستوریزه به خط تولید پنیپر فرستاده شد و توسط مبدل حرارتی دمای آن به 50°C افزایش یافت. سپس، جهت تغلیظ شیر به سیستم فراپالایش منتقل گردید. پس از عبور از سیستم فراپالایش، میزان ماده خشک شیر به حدود ۳۲٪ افزایش یافت. ترکیبات ناتراوه تهیه شده عبارت بودند از: ۲/۷٪ لاکتوز، ۱/۴٪ خاکستر، ۱۵/۳۵٪ چربی و ۱۲/۳۸٪ پروتئین.

در مرحله بعد، برای تهیه نمونه‌های پنیپر نیم‌چرب، محلول حاوی پودر کنسانتره پروتئین شیر (MPC°) با ماده خشک مشابه ناتراوه (۳۲٪) به مقدار مساوی (حجمی/حجمی) به ناتراوه افزوده شد تا میزان چربی به نصف کاهش یابد. پس از افزودن پودر صمغ فارسی در سه سطح ۰، ۰/۲۵ و ۰/۵ (وزنی/حجمی)، مخلوط با استفاده

6. Coagulatore

4. Nosrati

5. Whey protein concentrate

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج به دست آمده از ارزیابی حسی نمونه‌های پنیر

۳-۱-۱- رنگ و ظاهر

در رابطه با بسیاری از گروه‌های مواد غذایی، رنگ می‌تواند اطلاعاتی سودمندی در مورد ویژگی‌های حسی یک فراورده یا ویژگی‌های اصلی نظیر ممتاز، طبیعی یا سالم بودن در اختیار مصرف‌کنندگان قرار دهد. به عنوان مثال، رنگ پنیر می‌تواند نشان‌دهنده طول عمر آن باشد. بدین معنا که با افزایش مدت زمان رسیدن، همزمان با افزایش سطوح ترکیبات فرار تشکیل‌دهنده طعم، ظاهر آن معمولاً تیره‌تر می‌شود. بنابراین، روشنایی پنیر یک نشانه قابل مشاهده می‌باشد که بسته به ترجیحات فردی مصرف‌کنندگان، روی تصمیم‌گیری آن‌ها در خرید فراورده تأثیرگذار است [۱۹].

رنگ و ظاهر هر ماده غذایی به واسطه بازناب، جذب یا عبور نور تحت تأثیر قرار می‌گیرد که به نوبه خود به ساختار فیزیکی و ماهیت شیمیایی آن ماده غذایی بستگی دارد. یافته‌های آماری به دست آمده از اثر متغیرهای مستقل صمغ فارسی (PG)، آنزیم MTGase و مدت زمان نگهداری بر میزان پذیرش رنگ و ظاهر نمونه‌های پنیر از نظر ارزیابی‌ها در شکل‌های ۱ و ۲ و همچنین جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که هر سه متغیر PG، آنزیم MTGase و مدت زمان نگهداری اثر معناداری بر پارامترهای ذکر شده دارند ($p < 0.05$)؛ در حالی که، از نظر آماری اثرات متقابل هیچ‌یک از متغیرها معنادار نبود ($p > 0.05$).

رنگ سفید شیر به دلیل پراکنش نور سفید توسط ذرات کلوئیدی و پروتئین‌های شیر (میسل‌های کازئین و پروتئین‌های آب پنیر)، گلوبول‌های چربی، سیترات و فسفات است. در رابطه با پنیر، میزان پراکنش نور به تعداد حفرات یا میزان تخلخل بافت، محتوای چربی و همچنین حضور جایگزین‌های چربی شیر بستگی دارد [۲۰ و ۲۱]. بررسی شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت PG در فرمولاسیون نمونه‌های پنیر، امتیاز رنگ و ظاهر افزایش پیدا کرده است؛

جهت رقت‌سازی نمونه‌های پنیر، ۱ گرم نمونه از هر تیمار به نخستین لوله حاوی ۹ میلی‌لیتر آب پیتونه افزوده شده و رقت‌های متوالی از نمونه تهیه گردید. به منظور شمارش باکتری‌های اسید لاکتیک از محیط‌کشت MRS آگار استفاده شد. پس از کشت نمونه‌ها به روش پورپلیت (مخلوط)، پلیت‌ها در دمای 37°C به مدت ۴۸ ساعت در شرایط بی‌هوازی (جار بی‌هوازی) گرم‌خانه‌گذاری شدند. جهت تعیین غلظت باکتریایی از روش شمارش استاندارد کلنی‌ها استفاده گردید [۱۷].

۲-۵-۲- شمارش کپک و مخمرها

به منظور شمارش کپک و مخمرها از محیط‌کشت YGC آگار استفاده شد. کشت به روش سطحی انجام گرفت و پس از آن، پلیت‌ها در دمای 25°C به مدت ۴۸ ساعت گرم‌خانه‌گذاری شدند [۱۸].

۲-۶- آنالیز آماری

در این پژوهش، با توجه به سطوح مختلف دو متغیر صمغ فارسی (۰، ۰/۲۵ و ۰/۵٪) و آنزیم MTGase (۰، ۰/۵ و ۱ واحد به ازای هر گرم پروتئین ناتراوه)، تعداد ۹ نمونه نیم-چرب تولید گردید. علاوه بر نمونه‌ی شاهد نیم‌چرب، نمونه کارخانه به عنوان شاهد پرچرب با ۹ نمونه نیم‌چرب مقایسه شد. تمامی آزمون‌ها با سه تکرار انجام گرفت. ویژگی‌های حسی و میکروبی نمونه‌ها در طی روزهای یکم، سی‌ام و شصتم دوره نگهداری سرد مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS آنالیز شدند. به منظور بررسی اختلاف معنادار میان ۱۰ تیمار پنیر از آنالیز واریانس ساده و جهت بررسی اثرات متقابل میان تیمارها و مدت زمان نگهداری (در نمونه‌های نیم‌چرب) از طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی استفاده گردید. میانگین داده‌ها در سطح اختلاف معناداری ۰/۵٪ ($p < 0.05$) مقایسه شدند. تمامی نتایج به صورت میانگین سه تکرار \pm خطای استاندارد بیان گردید.

کنندگان افزایش دهد. با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ۱، با افزایش مدت زمان نگهداری، پذیرش رنگ و ظاهر نمونه‌های مختلف پنیر به‌طور معناداری کاهش یافت و در پایان دوره نگهداری امتیاز رنگ و ظاهر کمتری توسط ارزیاب‌ها به نمونه‌های پنیر اختصاص داده شد.

به‌طوری‌که نمونه‌های حاوی بالاترین میزان صمغ بالاترین امتیاز رنگ و ظاهر را کسب کردند. میزان امتیاز رنگ در نمونه‌های پنیر نیم‌چرب فرآپالوده حاوی ۰، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد PG به ترتیب ۷/۹۱، ۸/۰۳ و ۸/۱۲ تعیین شد و در مورد ظاهر ۷/۹۸، ۸/۰۷ و ۸/۲۱ به دست آمد. احتمالاً، افزایش در تعداد مراکز پراکنده نور در پنیر در نتیجه افزودن PG، سبب کسب امتیاز بالاتر رنگ و ظاهر شده است [۶].

در نمونه‌های تیمار شده با آنزیم MTGase نیز بیشترین امتیاز پذیرش رنگ و ظاهر در نمونه حاوی ۰/۵ واحد آنزیم مشاهده گردید. بنابراین، افزودن صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز به پنیر می‌تواند به‌طور موفقیت‌آمیزی پذیرش رنگ و ظاهر این فرآورده لبنی را در میان مصرف-

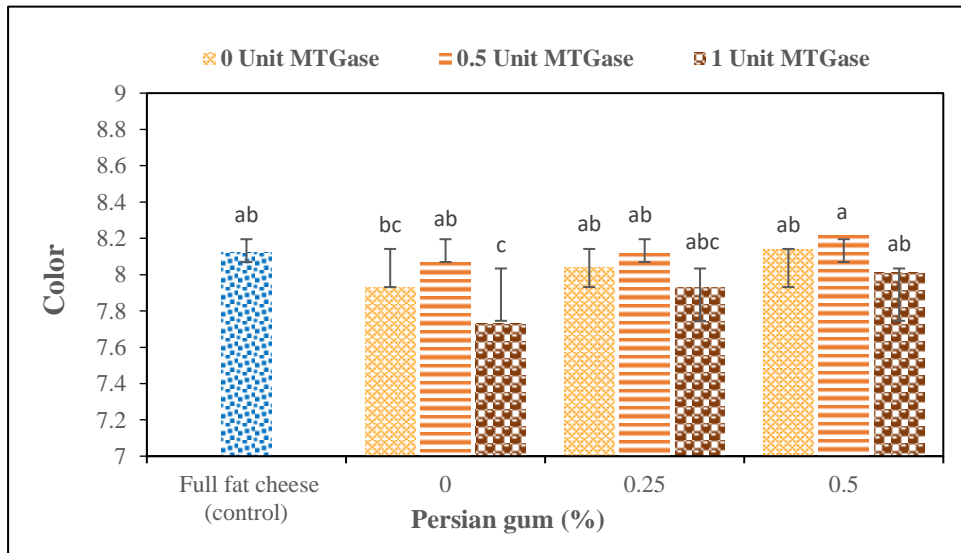


Figure 1. Effect of different concentration of MTGase and PG on the color of cheese samples

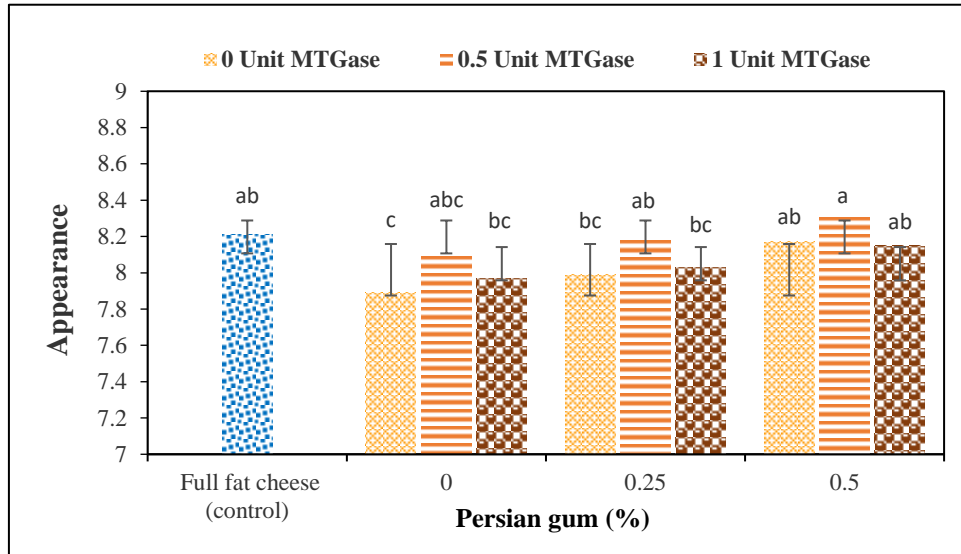


Figure 2. Effect of different concentration of MTGase and PG on the appearance of cheese samples

Table 1. The results of analysis of variance (ANOVA) of the effect of different concentration of MTGase and PG on the color and appearance of cheese samples during the cold storage

Parameter	Factor	Storage time (day)			
		1	30	60	
Color	MTGase concentration (U/g protein)				
	0	8.16 ± 0.23 ^{ab}	8.072 ± 0.200 ^a	7.879 ± 0.276 ^{ab}	
	0.50	8.34 ± 0.14 ^a	8.720 ± 0.289 ^a	7.989 ± 0.196 ^a	
	1	8.03 ± 0.22 ^b	7.933 ± 0.201 ^a	7.706 ± 0.260 ^b	
	PG concentration (%)				
	0	8.09 ± 0.21 ^a	7.93 ± 0.28 ^a	7.71 ± 0.29 ^a	
	0.25	8.16 ± 0.22 ^a	8.00 ± 0.19 ^a	7.93 ± 0.27 ^a	
	0.50	8.28 ± 0.22 ^a	8.14 ± 0.87 ^a	7.94 ± 0.18 ^a	
	Appearance	MTGase concentration (U/g protein)			
		0	8.07 ± 0.256 ^a	8.039 ± 0.173 ^b	7.944 ± 0.235 ^b
0.5		8.20 ± 0.182 ^a	8.194 ± 0.155 ^a	8.183 ± 0.242 ^a	
1		8.18 ± 0.173 ^a	8.056 ± 0.124 ^b	7.911 ± 0.215 ^b	
PG concentration (%)					
0		8.06 ± 0.19 ^b	7.97 ± 0.15 ^b	7.93 ± 0.16 ^b	
0.25		8.12 ± 0.18 ^{ab}	8.13 ± 0.14 ^a	7.94 ± 0.24 ^b	
0.50		8.27 ± 0.21 ^a	8.19 ± 0.14 ^a	7.97 ± 0.29 ^a	

$p <$ به علاوه، به غیر از اثر متقابل زمان نگهداری و PG، میان سایر متغیرهای مورد بررسی تفاوت معناداری مشاهده نگردید ($p > 0/05$). براساس نتایج نشان داده شده در شکل ۳، نمونه پنیر نیم‌چرب حاوی ۰/۵٪ PG و ۰/۵ واحد آنزیم MTGase با ۸/۵ امتیاز همانند نمونه شاهد پرچرب با ۸/۵۴ امتیاز دارای بیشترین امتیاز عطر و طعم بود. مطابق شکل ۳، با افزایش غلظت آنزیم MTGase به ۰/۵ واحد، امتیاز طعم افزایش یافت اما غلظت بالاتر آنزیم (یک واحد) سبب کاهش قابل توجه عطر و طعم پنیر نیم‌چرب شد. میزان امتیاز عطر و طعم در نمونه‌های پنیر نیم‌چرب فرآپالوده حاوی ۰، ۰/۵ و ۱ واحد آنزیم MTGase به ترتیب ۷/۶۶، ۷/۹۹ و ۷/۶۷ تعیین شد. همچنین با افزایش غلظت PG میزان امتیاز عطر و طعم در میان ارزیابان به طور معناداری افزایش یافت ($p < 0/001$). میزان امتیاز عطر و طعم در نمونه‌های پنیر نیم‌چرب فرآپالوده حاوی ۰، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد PG به ترتیب ۷/۳۱، ۷/۷۹ و ۸/۲۲ تعیین شد. در مورد زمان نگهداری نیز میزان امتیاز عطر و طعم در نمونه‌های پنیر نیم‌چرب فرآپالوده در دوره‌های ۱، ۳۰ و ۶۰ روز به ترتیب ۷/۶۴، ۷/۷۸ و ۷/۹۰ تعیین شد.

انجام فرایندهای پروتئولیز و لیپولیز در طی رسیدن پنیر، نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های حسی نظیر عطر و طعم، بافت و میزان پذیرش کلی آن دارد. تغییرات ثانویه‌ای که به طور هم‌زمان با این فرایندها رخ می‌دهد، سبب ایجاد تغییرات جزئی و کلی در ویژگی‌های حسی پنیر می‌شود. سوبستراهای اصلی چنین فرایندهایی شامل کازئین‌ها، لیپیدها و ترکیبات محلول در شیر می‌باشد. در طی مدت زمان نگهداری، با تغییر فلور میکروبی، ویژگی‌های لخته نیز در نتیجه واکنش‌های بیوشیمیایی انجام شده تغییر کرده و به همین دلیل ویژگی‌های جدیدی در عطر، طعم و بافت نمونه‌ها ایجاد می‌گردد [۱۶]. ممکن است کاهش میزان چربی، درک طعم پنیر توسط انسان را تحت تأثیر قرار دهد؛ زیرا اندازه گلبول‌های چربی در پنیرهای کم‌چرب در مقایسه با انواع پرچرب کوچکتر است و همچنین آن‌ها درون ماتریس پروتئینی پنیر جای گرفته‌اند [۲۴]. در پژوهش دیگری، نتایج

در مطالعه دیگری، اثر افزودن آنزیم‌های لیپاز و آنزیم MTGase بر ویژگی‌های حسی پنیر تازه کوارک مورد بررسی قرار گرفت. در طی مدت زمان ۲۱ روزه نگهداری سرد، کاهش قابل توجهی در امتیاز رنگ گزارش شده توسط ارزیاب‌ها مشاهده گردید و در تمامی نمونه‌ها کمترین امتیاز رنگ مربوط به روز بیست‌ویکم نگهداری بود. علاوه بر این، به استثنای روز اول نگهداری که در آن امتیاز رنگ نمونه شاهد به طور قابل توجهی بالاتر از نمونه‌های تیمار شده گزارش شد، میان امتیاز رنگ نمونه‌های تیمار شده و نمونه شاهد تفاوت معناداری وجود نداشت. همچنین میزان رطوبت تمامی نمونه‌های پنیر در طی دوره نگهداری کاهش یافت و نمونه‌ها ظاهری چروکیده‌ای پیدا کرده که بر جذابیت رنگ پنیرها تأثیری منفی داشت [۱۷]. در پژوهش دیگری نیز مشخص گردید که تفاوت معناداری میان رنگ پنیرهای تازه تیمار شده با آنزیم MTGase و نمونه‌های شاهد وجود نداشته است [۲۲].

۲-۱-۳- عطر و طعم و بافت

در طی سه واکنش اصلی ذیل ترکیبات عطر و طعم‌زا در پنیر تشکیل می‌شوند: الف) متابولیسم لاکتوز باقیمانده، لاکتات و سترات، ب) پروتئولیز، و ج) لیپولیز. به طور کلی، ترکیبات طعم‌دهنده مواد غذایی به دو گروه ترکیبات فرار و غیر فرار طبقه‌بندی می‌شوند. ترکیبات طعم‌دهنده فرار شامل الکل‌ها، اسیدها، استرها، آلدئیدها و کتون‌ها هستند که تمامی آن‌ها عامل ایجاد آروما و عطر انواع مواد غذایی می‌باشند. در مقابل، ترکیبات طعم‌دهنده غیر فرار در برگیرنده ترکیباتی نظیر اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه، قندهای احیاکننده، نوکلئوتیدها، پلی‌پپتیدها و سایر مولکول‌های کوچک هستند که همگی در ایجاد طعم مواد غذایی نقش دارند [۲۳].

نتایج آنالیز آماری اثر متغیرهای PG، آنزیم MTGase و مدت زمان نگهداری بر میزان پذیرش عطر و طعم نمونه‌های پنیر فرآپالوده کم‌چرب در جدول ۲ به نمایش درآمده است. نتایج نشان داد تمامی متغیرهای مستقل مورد بررسی اثر کاملاً معناداری بر پذیرش عطر و طعم پنیر فرآپالوده داشتند ($p < 0/001$).

به دست آمده از تأثیر آنزیم MTGase به صورت آزاد و پوشینه دار شده بر ویژگی های حسی پنیر نشان داد که نمونه حاوی 60 ppm آنزیم پوشینه دار شده دارای قابل قبول ترین طعم است؛ در حالی که نمونه دارای 60 ppm آنزیم آزاد دارای بالاترین امتیاز رنگ و بو می باشد [25].

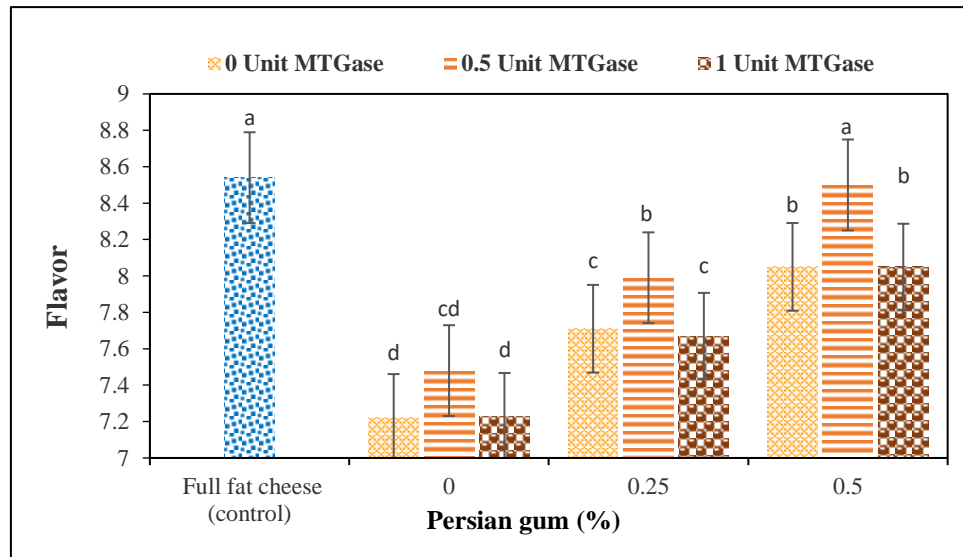


Figure 3. Effect of different concentration of MTGase and PG on the flavor of cheese samples

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

Parameter	Factor	Storage time (day)		
		1	30	60
Flavor	MTGase concentration (U/g protein)			
	0	7.54 ± 0.44 ^b	7.64 ± 0.23 ^b	7.80 ± 0.52 ^b
	0.50	7.84 ± 0.53 ^a	8.01 ± 0.36 ^a	8.11 ± 0.56 ^a
	1	7.53 ± 0.41 ^b	7.07 ± 0.25 ^b	7.79 ± 0.52 ^b
	PG concentration (%)			
	0	7.18 ± 0.26 ^c	7.44 ± 0.25 ^b	7.311 ± 21 ^c
Texture	0.25	7.60 ± 0.21 ^b	7.83 ± 0.29 ^a	7.93 ± 0.23 ^b
	0.50	8.14 ± 0.28 ^a	8.07 ± 32 ^a	8.46 ± 0.30 ^a
	MTGase concentration (U/g protein)			
	0	6.80 ± 0.64 ^a	7.00 ± 0.78 ^{ab}	7.43 ± 0.65 ^a
	0.5	7.00 ± 0.62 ^a	7.22 ± 0.29 ^a	7.46 ± 0.50 ^a
	1	6.94 ± 0.72 ^a	6.90 ± 0.30 ^b	7.07 ± 0.43 ^b
PG concentration (%)	0	6.25 ± 0.21 ^c	6.41 ± 0.26 ^c	6.74 ± 0.24 ^c
	0.25	6.80 ± 0.25 ^b	6.81 ± 0.18 ^b	7.34 ± 0.24 ^b
	0.50	7.69 ± 0.20 ^a	7.90 ± 0.30 ^a	7.87 ± 0.37 ^a

اثرات متغیرهای مستقل PG، آنزیم MTGase و مدت زمان نگهداری بر میزان پذیرش بافت نمونه های پنیر قابل مشاهده می باشد. یافته های این پژوهش مشخص ساخت که افزودن

در شکل 4 نتایج افزودن PG و آنزیم MTGase بر بافت نمونه های پنیر و مقایسه آن با نمونه شاهد پرچرب به نمایش درآمده است. در جدول 2 نیز نتایج به دست آمده از

به علاوه، همانند سایر ویژگی حسی مورد بررسی، افزودن آنزیم MTGase تأثیر مثبتی بر پذیرش بافت نمونه‌های پنیر تیمارشده توسط ارزیاب‌ها داشت و در این رابطه، تیمار حاوی ۰/۵ واحد آنزیم (۷/۲۳) دارای بالاترین امتیاز بافت بود. به علاوه، تفاوت معنی‌داری میان نمونه شاهد نیم-چرب (۷/۰۸ امتیاز) با نمونه حاوی ۱ واحد آنزیم (۶/۹۶) امتیاز) مشاهده نشد. به نظر می‌رسد استفاده از غلظت‌های بالاتر آنزیم به دلیل افزایش تشکیل پیوندهای درون و برون مولکولی شبکه پروتئینی کازئین سبب سفتی بیش از حد و کاهش کیفیت مطلوب بافت پنیر می‌شود. در میان تیمارهای مختلف نیم‌چرب مورد بررسی، بالاترین کیفیت بافت با امتیاز ۷/۹۳ به نمونه پنیر کم‌چرب حاوی ۰/۵٪ PG و ۰/۵ واحد آنزیم MTGase تعلق گرفت که تفاوت معناداری با نمونه پرچرب با امتیاز بافت ۷/۹۹ نداشت (شکل ۴).

صمغ به‌طور معناداری بافت نمونه‌های پنیر را تحت تأثیر قرار داده است ($p < 0.001$) و نمونه‌های حاوی بیشترین غلظت PG، بالاترین امتیاز بافت را کسب کردند که این امر ممکن است به دلیل ویژگی آب‌دوستی صمغ‌ها باشد که در نتیجه افزودن صمغ، مولکول‌های آب تا حد زیادی جایگزین چربی کاهش یافته شده و در میان ذرات پروتئینی قرار می‌گیرند که در نتیجه مانع از متراکم شدن زیاد شبکه پروتئینی می‌شوند. می‌توان دلیل دیگر کاهش سفتی بافت پنیر را به برهم‌کنش‌های میان صمغ با زنجیره‌های پروتئینی نسبت داد. این برهم‌کنش‌ها سبب کاهش پیوندهای عرضی پروتئینی در ساختار پنیر شده و به دنبال آن ماتریس پروتئینی ضعیف‌تری ایجاد می‌گردد که موجب نرم‌تر شدن بافت پنیر می‌شود [۲۶].

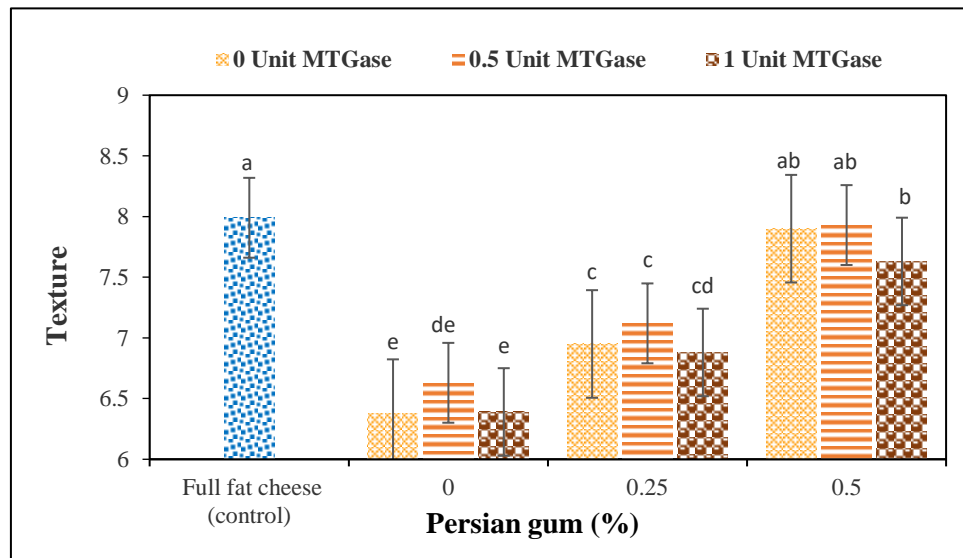


Figure 4. Effect of different concentration of MTGase and PG on the texture of cheese samples

و تشکیل پیوندهای عرضی میان مولکول‌های پروتئین باشد. باین حال، در پژوهش اشاره شده، از نظر رنگ، طعم و مزه تفاوت معناداری میان نمونه‌های پنیر شاهد و نمونه‌های تیمار شده با MTGase مشاهده نشد [۲۷].

به‌طور مشابهی، ویژگی‌های حسی پنیرهای فرآپالوده کم‌چرب حاوی صمغ کاپاکاراگینان و آنزیم ترانس گلوتامیناز

در مطابقت با یافته‌های به‌دست‌آمده از این بررسی، در پژوهش انجام‌شده دیگری بیشترین امتیاز بافت برای نمونه‌های پنیر شاهد و انواع تیمارشده با سطوح پایین آنزیم MTGase به‌دست آمد. بهبود بافت پنیرهای تیمارشده با سطوح مناسب آنزیم می‌تواند به دلیل افزایش محتوای رطوبت

صمغ به میزان ۰.۳٪ بهبود بافت و طعم پنیرهای کم چرب را باعث شد، اما استفاده از غلظت‌های بالاتر صمغ تأثیری منفی بر این فاکتورها داشت. در مقادیر ثابت صمغ نیز نمونه‌های حاوی آنزیم امتیاز بالاتری در مقایسه با نمونه‌های بدون آنزیم توسط ارزیاب‌ها دریافت کردند [۲۶].

در طی یک دوره سی‌روزه مورد مطالعه قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش مشخص ساخت که به‌استثنای بو، صمغ کاپاکاراگینان بر سایر ویژگی‌های حسی همانند رنگ، بافت و طعم نمونه‌های پنیر تأثیری معنادار داشته است. افزودن آنزیم MTGase نیز تنها بر فاکتورهای رنگ و بافت تأثیری معناداری داشت و در رابطه با بو و طعم اثر معناداری مشاهده نشد. به‌علاوه، طول دوره نگهداری تمامی ویژگی‌های حسی نمونه‌ها را به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار داد. استفاده از

Table 3. Effect of different concentration of MTGase and PG on the brightness of cheese samples during the cold storage

Parameter	Storage period (days)	PG concentration (%)	MTGase concentration (U/g protein)	Mean ± SD	
Brightness (L*)	1	0	0	1.38±89.07	
		0	0.5	1.148±90.61	
		0	1	1.22±89.16	
		0.25	0	1.57±90.95	
		0.25	0.5	1.31±91.97	
		0.25	1	1.60±91.00	
		0.5	0	1.40±91.51	
		0.5	0.5	1.17±92.28	
		0.5	1	0.54±92.51	
		0	0	1.84±86.78	
		0	0.5	1.58±88.95	
		0	1	1.43±87.55	
	30	0.25	0	1.47±87.41	
		0.25	0.5	0.71±88.80	
		0.25	1	0.43±87.68	
		0.5	0	1.54±89.30	
		0.5	0.5	1.09±90.42	
		0.5	1	1.82±89.63	
		0	0	2.16±84.84	
		0	0.5	2.16±86.64	
		0	1	2.05±86.11	
		60	0.25	0	1.84±86.58
			0.25	0.5	1.39±87.99
			0.25	1	1.42±87.56
0.5	0		1.63±87.47		
0.5	0.5		1.21±88.76		
0.5	1		1.02±88.55		

b* (زردی-آبی) نمونه‌های پنیر مورد آزمایش معنادار نگردید ($p > 0.05$). مطابق با نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، میزان روشنایی نمونه‌های پنیر مورد بررسی در طی مدت‌زمان نگهداری سرد کاهش یافت. این کاهش مقادیر L* می‌تواند به‌دلیل افزایش هیدراتاسیون پروتئین‌ها و کاهش قطرات آب آزاد در طی دوره نگهداری باشد که سبب کاهش پراکندگی نور می‌شود [۲۴]. مقادیر L* نمونه‌های پنیر در طی دوره

۲-۳- نتایج به‌دست آمده از ارزیابی رنگ نمونه‌های پنیر

در جدول ۳، نتایج آماری به‌دست آمده از شاخص رنگی L* (روشنایی) نمونه‌های پنیر در طی دوره نگهداری سرد به-نمایش درآمده است که نشان‌دهنده معنادار بودن متغیرهای مستقل PG و آنزیم MTGase می‌باشد ($p < 0.05$)؛ با این-حال، اثر این متغیرها بر شاخص‌های a* (قرمزی-سبزی) و

شصت‌روزه نگهداری در محدوده ۸۴/۸۴ (نمونه پنیر حاوی ۰٪ صمغ و ۰ واحد آنزیم در روز شصت‌ام نگهداری) تا ۹۲/۵۱ (تیمار حاوی ۰/۵٪ PG و ۱ واحد آنزیم MTGase در روز اول نگهداری) قرار داشت. در مطابقت با نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر، ترابی^۷ و همکاران [۲۷]. نشان دادند که افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز به همراه پروتئین‌های آب پنیر سبب افزایش تعداد حفره‌های سرمی و ایجاد بافتی متخلخل در پنیر می‌گردد. به‌علاوه، میزان روشنائی (L^*) تمامی نمونه‌ها در طی دوره رسیدن کاهش یافت. در مطالعه‌ای مشابه مشخص گردید که تفاوت اندکی میان رنگ نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و نمونه‌های شاهد وجود دارد که نشان‌دهنده تأثیر کم MTGase بر رنگ نمونه‌های پنیر می‌باشد. به‌علاوه، مقادیر b^* بزرگتر از صفر اندازه‌گیری شدند؛ بدین معنا که رنگ نمونه‌های مورد مطالعه متمایل به زرد بوده است. به‌طور کلی، نمونه‌های تهیه‌شده از پودر شیر کامل دارای رنگ زردتری در مقایسه با انواع تولیدشده از شیر تازه بودند که ممکن است این تفاوت به دلیل رنگ مواد اولیه باشد. درحقیقت، پودر شیر به دلیل انجام فرایند خشک‌کردن در دمای بالا دارای رنگ تیره‌تری است [۲۲].

۳-۳- بررسی روند رشد و تغییرات زنده‌مانی باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB)

در شکل ۵ نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر غلظت‌های مختلف PG و آنزیم MTGase بر تغییرات رشد و زنده‌مانی باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB) نمونه‌های پنیر به‌نمایش درآمده است. افزودن صمغ به‌طور معناداری ($p < 0/001$) سبب افزایش و افزودن آنزیم به‌طور معناداری ($p < 0/01$) موجب کاهش رشد و زنده‌مانی LAB شد. به‌طور میانگین، نمونه‌های پنیر حاوی بالاترین سطح صمغ (۰/۵٪) در مقایسه با سایر تیمارها دارای قابلیت رشد و زنده‌مانی بالاتری بودند. بالاترین میزان رشد LAB در تیمار پنیر نیم‌چرب حاوی ۰/۵٪ صمغ و فاقد واحد آنزیم با $8/42 \text{ Log CFU/g}$ مشاهده گردید که تفاوت معناداری از این نظر با نمونه شاهد پرچرب با شمارش

افزایش و سپس کاهش یافته است (جدول ۴). در مطابقت با نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه، گزارش شده که با افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و همچنین با گذشت زمان، جمعیت باکتری‌های اسید لاکتیک در نمونه‌های پنیر کاهش یافته است [۲۲]. آنزیم MTGase هیچ‌گونه اثر سمی بر LAB ندارد، اما ممکن است دلیل این کاهش، تأخیر در رشد این باکتری‌ها باشد؛ زیرا پپتیدهای با وزن مولکولی پایین و همچنین اسیدهای آمینه مورد نیاز رشد LAB با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تشکیل پیوندهای عرضی داده و در نتیجه از دسترس این باکتری‌ها خارج می‌شوند [۷]. در مطالعه دیگری، تأثیر افزودن آنزیم MTGase و صمغ کاراگینان بر ویژگی‌های میکروبی پنیر فرابالوده کم‌چرب در طی مدت‌زمان نگهداری سی روزه مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این پژوهش مشخص ساخت که افزودن MTGase و مدت‌زمان نگهداری اثر قابل‌توجهی بر جمعیت باکتری‌های اسید لاکتیک داشته است؛ اگرچه، غلظت صمغ تأثیر معناداری بر این فاکتور نداشت. پس از گذشت ۱۵ روز از تولید نمونه‌ها، جمعیت LAB از $7/33 \text{ Log CFU/g}$ به $8/21 \text{ Log CFU/g}$ افزایش یافت، اما در روز سی‌ام نگهداری به $7/21 \text{ Log CFU/g}$ کاهش یافت [۲۶]. در پژوهش دیگری، به‌استثنای نمونه حاوی $0/3 \text{ g/L}$ آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و $0/6 \text{ g/L}$ آنزیم لپاز که در آن غلظت باکتری‌های اسید لاکتیک بیش از سایر نمونه‌ها بود، تغییر معناداری در جمعیت LAB نمونه‌های پنیر کوارک مورد بررسی مشاهده نگردید. به‌علاوه، در طی ۲۱ روز، جمعیت LAB به‌طور معناداری افزایش یافت و بالاترین میزان آن در روز بیست‌ویکم گزارش شد [۱۷].

۳-۳- بررسی روند رشد و تغییرات زنده‌مانی باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB)

در شکل ۵ نتایج به‌دست‌آمده از تأثیر غلظت‌های مختلف PG و آنزیم MTGase بر تغییرات رشد و زنده‌مانی باکتری‌های اسید لاکتیک (LAB) نمونه‌های پنیر به‌نمایش درآمده است. افزودن صمغ به‌طور معناداری ($p < 0/001$) سبب افزایش و افزودن آنزیم به‌طور معناداری ($p < 0/01$) موجب کاهش رشد و زنده‌مانی LAB شد. به‌طور میانگین، نمونه‌های پنیر حاوی بالاترین سطح صمغ (۰/۵٪) در مقایسه با سایر تیمارها دارای قابلیت رشد و زنده‌مانی بالاتری بودند. بالاترین میزان رشد LAB در تیمار پنیر نیم‌چرب حاوی ۰/۵٪ صمغ و فاقد واحد آنزیم با $8/42 \text{ Log CFU/g}$ مشاهده گردید که تفاوت معناداری از این نظر با نمونه شاهد پرچرب با شمارش

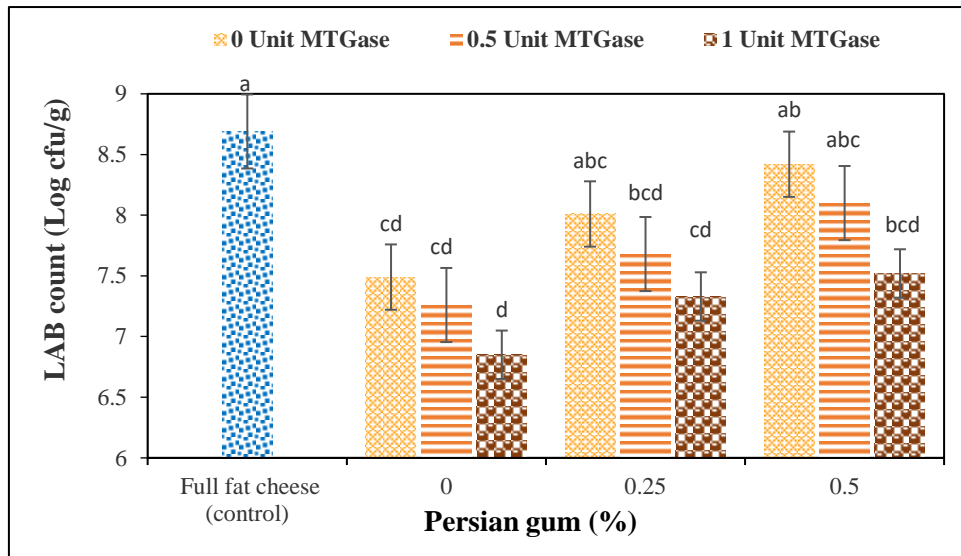


Figure 5. Effect of different concentration of MTGase and PG on the survivability of lactic acid bacteria

همان گونه که در شکل ۶ قابل مشاهده می باشد، یافته های این مطالعه نشان داد که افزودن صمغ PG تا حدودی سبب افزایش و افزودن آنزیم MTGase نیز به طور جزئی موجب کاهش رشد کپک و مخمرها در نمونه های پنیر فرابالوده نیم چرب شده است ($p > 0.05$). بالاترین میزان رشد قارچ ها در نمونه حاوی ۰ واحد آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۰/۲۵٪ صمغ فارسی مشاهده شد. دلیل احتمالی افزایش جمعیت کپک و مخمرها با افزایش درصد صمغ این است که مقادیر زیادی از آب در دسترس این میکروارگانیسم قرار می گیرد که فعالیت بالاتر آن ها را به دنبال دارد. کاهش رشد قارچ ها در اثر افزودن آنزیم نیز می تواند به دلیل تشکیل پیوندهای عرضی توسط آنزیم و از دسترس خارج شدن ترکیبات مورد نیاز رشد این میکروارگانیسم ها باشد. به علاوه، در طی مدت زمان نگهداری سرد، رشد کپک و مخمرها در نمونه های پنیر فرابالوده کم چرب تیمار شده با PG و آنزیم MTGase ابتدا کاهش جزئی و سپس افزایش معناداری یافت. (جدول ۴).

۴-۳- بررسی میزان رشد کپک و مخمرها

ممکن است آلودگی قارچی فراورده های لبنی در طی مراحل مختلف چرخه تولید از مزارع پرورش دام تا واحدهای تولیدی لبنی رخ دهد. به طور طبیعی در شیر خام CFU/mL $10^3 - 10^5$ سلول قارچی وجود دارد و مکان های شیردوشی در دامداری ها از منابع مهم ورود این میکروارگانیسم ها به شیر به شمار می آیند. همچنین آلودگی فراورده های لبنی توسط کپک ها می تواند ناشی از آلودگی هوای محیطی تولید این فراورده ها به ویژه پس از انجام فرایند پاستوریزاسیون باشد. اگرچه، معمولاً کپک ها از عوامل اصلی فساد شیر و سایر فراورده های لبنی محسوب نمی شوند، اما ممکن است در برخی فراورده های کشت داده شده منجر به ایجاد تغییرات قابل رؤیت در نتیجه رشد میسیلیوم ها بر سطح چنین فراورده های و نیز ایجاد بدطعمی از طریق فعالیت پروتئولیتیکی شوند. اغلب فساد کپکی در فراورده هایی مانند پنیر و کره رخ می دهد و سبب ایجاد طعم تلخ و ظاهری کپک زده در این فراورده ها می گردد [۲۸].

Table 4. The results of analysis of variance (ANOVA) of the effect of different concentration of MTGase and PG on the survivability of lactic acid bacteria, molds and yeasts of cheese samples during the cold storage

Parameter	Factor	Storage time (day)		
		1	30	60
Lactic acid bacteria (Log cfu/g)	MTGase concentration (U/g protein)			
	0	7.27 ± 0.65 ^a	8.92 ± 0.66 ^b	7.73 ± 0.64 ^a
	0.50	7.10 ± 0.54 ^a	8.60 ± 0.64 ^{ab}	7.34 ± 0.67 ^{ab}
	1	6.58 ± 0.52 ^b	8.16 ± 0.50 ^b	6.94 ± 0.65 ^b
	PG concentration (%)			
	0	6.47 ± 0.41 ^b	8.04 ± 0.62 ^b	7.08 ± 0.80 ^a
	0.25	7.03 ± 0.51 ^a	8.68 ± 0.51 ^a	7.31 ± 0.70 ^a
	0.50	7.45 ± 0.55 ^a	8.97 ± 0.53 ^a	7.63 ± 0.55 ^a
	Molds and yeasts (Log cfu/g)	MTGase concentration (U/g protein)		
0		1.08 ± 0.53 ^a	1.02 ± 0.64 ^a	2.06 ± 0.45 ^a
0.5		0.97 ± 0.46 ^a	0.92 ± 0.59 ^a	1.79 ± 0.56 ^a
1		0.83 ± 0.25 ^a	0.86 ± 0.76 ^a	1.63 ± 0.56 ^a
PG concentration (%)				
0		0.86 ± 0.56 ^a	0.90 ± 0.70 ^a	1.47 ± 0.34 ^b
0.25		1.15 ± 0.44 ^a	1.12 ± 0.77 ^a	1.79 ± 0.34 ^{ab}
0.50		0.87 ± 0.49 ^a	0.78 ± 0.44 ^a	0.21 ± 0.63 ^a

نمونه حاوی ۰/۱ g/L آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۰/۰۲ g/L آنزیم لیپاز دارای بالاترین جمعیت قارچی بودند؛ در حالی که، کمترین جمعیت قارچی در نمونه شاهد (۴/۴۹ Log CFU/g) گزارش شد. سرعت رشد در نمونه شاهد کمتر از نمونه‌های تیمار شده بود و پس از گذشت ۲۱ روز، رشد مخمرها و کپک‌ها در این نمونه تنها برابر با ۱/۱ Log CFU/g گزارش شد. علاوه بر این، در طی مدت زمان نگهداری جمعیت کلی - فرم‌ها به‌طور معناداری افزایش یافت و در تمامی نمونه‌های مورد بررسی بالاترین سطح آن در روز بیست و یکم نگهداری اندازه‌گیری شد [۱۷].

پس از گذشت ۳۰ روز از تولید نمونه‌ها، شمارش کپک و مخمر به‌طور مختصر از ۰/۹۶ Log CFU/g به ۰/۹۳ کاهش یافت، اما در روز ۶۰ نگهداری مقدار آن به شکل معناداری به ۱/۸۳ Log CFU/g افزایش یافت [۲۶]. در مطالعه دیگری مشخص گردید که مدت زمان بیست و یک روزه نگهداری سرد دارای اثر مثبت معناداری بر رشد کپک‌ها و مخمرها در تمامی نمونه‌های پنیر کوارک بوده است. در میان نمونه‌های تیمار شده، بالاترین جمعیت کپک‌ها و مخمرها در نمونه حاوی ۰/۳ g/L آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۰/۰۶ g/L آنزیم لیپاز مشاهده گردید و پس از آن، نمونه حاوی ۰/۲ g/L آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۰/۰۴ g/L آنزیم لیپاز و

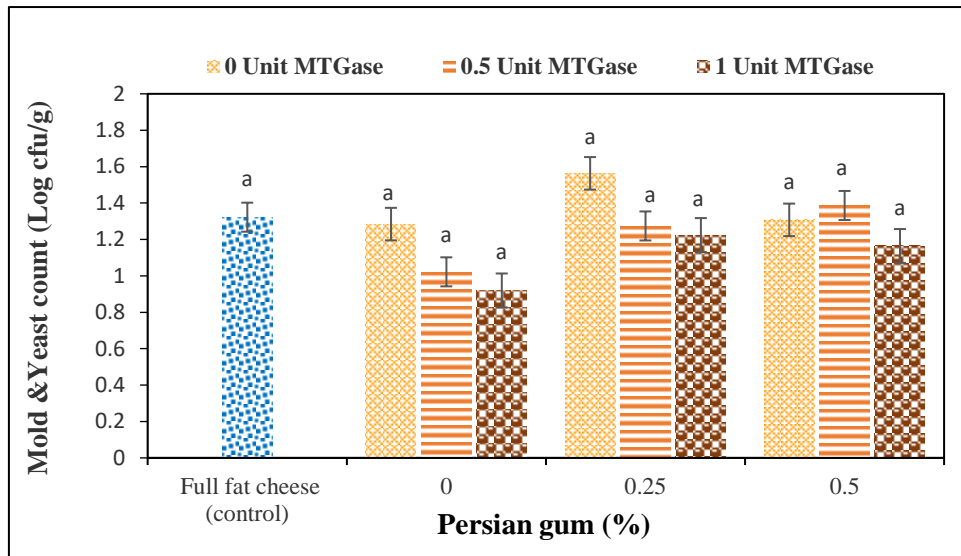


Figure 6. Effect of different concentration of MTGase and PG on the count of molds and yeasts

های میکروبی نشان داد که افزودن صمغ به طور معناداری موجب افزایش و افزودن آنزیم به طور معناداری سبب کاهش رشد و زنده‌مانی LAB شده است. علاوه بر این، در طی دوره نگهداری رشد و زنده‌مانی باکتری‌های اسید لاکتیک به طور غیرمعناداری ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. افزودن صمغ تا حدودی سبب افزایش و افزودن آنزیم نیز به طور جزئی موجب کاهش رشد کپک و مخمرها در نمونه‌های پنیر فرابالوده نیم‌چرب شد. در نتیجه، با استفاده از سطوح مناسب صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز می‌توان پنیرهایی با ویژگی‌های تکنولوژیکی مطلوب تولید کرد. براساس نتایج کلی به دست آمده در این پژوهش، با کمک ۰/۵ درصد صمغ فارسی و ۰/۵ واحد آنزیم ترانس گلوتامیناز (به ازای هر گرم پروتئین) می‌توان پنیر نیم‌چربی با ویژگی‌های حسی مشابه با پنیر پرچرب تولید نمود.

۵- قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شده است و به این منظور نویسندگان مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارند. همچنین از مسئولین

۴- نتیجه گیری

یافته‌های به دست آمده از پژوهش حاضر مشخص ساخت که افزودن صمغ فارسی و آنزیم ترانس گلوتامیناز به پنیر کم-چرب سبب بهبود رنگ و ظاهر این فراورده لبنی شده است. با افزایش مدت زمان نگهداری، پذیرش رنگ و ظاهر نمونه‌های مختلف پنیر به طور معناداری کاهش یافت و در پایان دوره نگهداری امتیاز رنگ و ظاهر کمتری توسط ارزیاب‌ها به نمونه‌های پنیر اختصاص داده شد. به علاوه، با افزایش غلظت آنزیم، امتیاز طعم افزایش یافت اما افزایش غلظت آنزیم به میزان یک واحد، کاهش قابل توجه عطر و طعم پنیر نیم‌چرب را به دنبال داشت. افزایش غلظت PG نیز سبب افزایش میزان امتیاز عطر و طعم نمونه‌های پنیر شد. افزودن صمغ همچنین به طور معناداری بافت نمونه‌های پنیر را تحت تأثیر قرار داد؛ به طوری که، بالاترین امتیاز بافت به نمونه‌های حاوی بیشترین غلظت PG اختصاص یافت. افزودن آنزیم نیز دارای تأثیر مثبتی بر پذیرش بافت نمونه‌های پنیر تیمار شده توسط ارزیاب‌ها بود و تیمار حاوی ۰/۵ واحد آنزیم، بالاترین امتیاز بافت را کسب نمود. اندازه‌گیری میزان روشنایی (L*) نمونه‌های پنیر، کاهش مقادیر L* را در طی دوره نگهداری سرد نشان داد. نتایج به دست آمده از آزمون-

محترم کارخانه پگاه خوزستان و واحد تحقیق و توسعه کارخانه به جهت تولید نمونه‌های پنیر قدردانی می‌گردد.

۶- منابع

- [1] Jooyandeh, H. 2022. Application of Enzymes in Dairy Products. 1st ed., Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University Press. (In Persian)
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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 and Nutrition*, 5: 669-677.
- [5] Jooyandeh, H., and Hojjati, M. 2022. Impact of animal lipase enzymes on development of lipolysis in Iranian-white brined cheese during storage period. *Food Processing and Preservation Journal*, 14(4): 37-54. (In Persian)
- [6] Rostamabadi, H., Jooyandeh, H., and Hojjati, M. 2017. Optimization of physicochemical, sensorial and color properties of ultrafiltrated low-fat Iranian white cheese containing fat replacers by Response Surface Methodology. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 14(63): 91-106. (In Persian)
- [7] Torabi, F., Jooyandeh, H., and Noshad, M. 2021. Evaluation of physicochemical, rheological, microstructural, and microbial characteristics of synbiotic ultrafiltrated white cheese treated with transglutaminase. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6): 1-11.
- [8] Yademellat, M., Jooyandeh, H., and Hojjati, M. 2018. Comparison of some physicochemical and sensory properties of low-fat stirred yogurt containing Persian and Balangu-Shirazi gums. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 14(72): 313-326. (In Persian)
- [9] Aires da Silva, D., Cristine Melo Aires, G. and da Silva Pena, R. 2021. Gums-Characteristics and applications in the food industry. In: *Innovation in the food sector through the valorization of food and agro-food by-products*, Novo de Barros, N., and Gouvinhas, I. (eds), Chapter 13, IntechOpen Limited, London, UK.
- [10] Wen, P., Zhu, Y., Luo, J., Wang, P., Liu, B., Du, Y., et al. 2021. Effect of anthocyanin-absorbed whey protein microgels on physicochemical and textural properties of reduced-fat Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 104(1): 228-242.
- [11] Sharif, N., Falcó, I., Martínez-Abad, A., Sánchez, G., López-Rubio, A. and Fabra, M.J. 2021. On the use of Persian gum for the development of antiviral edible coatings against murine norovirus of interest in blueberries. *Polymers*, 13(2): 224.
- [12] Gholamhosseinpour, A., and Zare, S. 2024. Investigating the effect of Persian gum on physicochemical, textural and rheological characteristics of UF white brined cheese during ripening. *International Dairy Journal*, 155, 105952.
- [13] Miwa, N. 2020. Innovation in the food industry using microbial transglutaminase: Keys to success and future prospects. *Analytical Biochemistry*, 597: 113638.
- [14] Abou-Soliman, N.H.I., Awad, S. and El-Sayed, M.I., (2020). The impact of microbial transglutaminase on the quality and antioxidant activity of camel-milk soft cheese. *Food and Nutrition Sciences*, 11(03), p.153.
- [15] Hebishy, E., Nagarajah, J., Thompson, L.S., Shennan, S., Best, L., Ajayi, et al. 2022. Impact

- of microbial transglutaminase and cooking time on functional properties of Mozzarella cheese analogues. *International Journal of Dairy Technology*, 75(1): 201-213.
- [16] Nosrati, G., Jooyandeh, H., Hojjati, M. and Noshad, M. 2023. Study on the physicochemical properties of synbiotic UF-cheese containing demineralized ultrafiltrated whey powder and lactulose during storage period. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20(139). (In Persian)
- [17] Seyed-Moslemi, S.A., Hesari, J., Peighamardoust, S.H. and Peighamardoust, S.J. 2021. Effect of microbial lipase and transglutaminase on the textural, physicochemical, and microbial parameters of fresh quark cheese. *Journal of Dairy Science*, 104(7): 7489-7499.
- [18] Afzali, S., Edalatian Dovom, M.R., Habibi Najafi, M.B. and Mazaheri Tehrani, M. 2020. Determination of the anti-yeast activity of *Lactobacillus* spp. isolated from traditional Iranian cheeses in vitro and in yogurt drink (Doogh). *Scientific Reports*, 10(1).
- [19] Milovanovic, B., Djekic, I., Miocinovic, J., Djordjevic, V., Lorenzo, J.M., Barba, F.J. et al. 2020. What is the color of milk and dairy products and how is it measured? *Foods*, 9(11).
- [20] Manoj Kumar, C.T., Chauhan, O.P., Sathish Kumar, M.H. and Devaraja, H.C. 2022. Chemistry of milk and milk products. In: *Advances in food chemistry: Food components, processing and preservation*, Chauhan, O.P. (ed), Chapter 13, Singapore: Springer Nature Singapore. pp. 471-495.
- [21] Urgu, M., Türk, A., Ünlütürk, S., Kaymak-Ertekin, F. and Koca, N. 2019. Milk fat substitution by microparticulated protein in reduced-fat cheese emulsion: The effects on stability, microstructure, rheological and sensory properties. *Food Science of Animal Resources*, 39(1): 23-34.
- [22] 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.
- [23] Zheng, X., Shi, X. and Wang, B. 2021. A review on the general cheese processing technology, flavor biochemical pathways and the influence of yeasts in cheese. *Frontiers in Microbiology*, 12.
- [24] Kaczyński, Ł.K., Cais-Sokolińska, D., Bielska, P., Teichert, J., Biegalski, J., Yiğit, A. et al. 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.
- [25] 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 and Nutrition*, 8(7): 3750-3758.
- [26] 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. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20(139). (In Persian)
- [27] 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. (In Persian)
- [28] Leone, C., Thippareddi, H., Ndiaye, C., Niang, I., Diallo, Y. and Singh, M. 2022. Safety and quality of milk and milk products in Senegal-A review. *Foods*, 11(21).



Scientific Research

Study on the effect of Persian gum and transglutaminase enzyme on the sensory, color, and microbial characteristics of semi-fat ultrafiltrated white cheese during cold storage

Seyede 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: 2024/3/16

Accepted: 2024/5/8

Keywords:

Fat replacer,
MTGase, Lightness,
Sensory,
Cold storage period.

DOI: 10.22034/FSCT.21.156.92.

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

The present study was conducted to investigate the effect of Persian gum (PG) and microbial transglutaminase (MTGase) on sensorial, color and microbial 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/g of protein. The results revealed that the treatment of cheese samples with PG and MTGase enzyme had a positive effect on the sensory and quality characteristics of the product. In general, the cheese sample containing 0.5% PG and 0.5 units of MTGase enzyme attained the highest sensorial scores. Based on panelists' preference, during the storage time, aroma and texture scores increased while color and appearance attributes decreased. The results obtained from the analysis of color values revealed that the lightness (L*) of cheeses increased with the addition of PG and MTGase enzyme treatment and decreased with the passage of storage time. Unlike the lightness, PG and MTGase enzyme had no significant effect on a* (red-green) and b* (yellow-blue) values of the experimented cheese samples. The results obtained from the microbial evaluation showed that the addition of PG increased the viability of lactic acid bacteria (LAB), but it had no effect on the count of mold and yeasts. On the other hand, increasing the concentration of the enzyme decreased the growth and survival of the studied microorganisms. The results of this study showed that PG can be used as a fat substitute along with MTGase enzyme to produce ultrafiltrated low-fat white cheese with favorable technological and sensory characteristics comparable to high-fat cheese varieties, and the best sample of ultrafiltrated semi-fat cheese is obtained using a treatment containing 0.5% PG and 0.5 unit of MTGase enzyme.