

The effect of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme on the quality properties of probiotic quark cheese

Roxana Feizbashi¹, Marjaneh Sedaghati^{2*}, Mohaddeseh Larypoor³

¹ MS student of Food Science and Technology, NT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Assistant Professor of Food Science and Technology, Department of Food Science and Technology, NT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Associate professor of mycology, Department of Microbiology, NT. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

ABSTRACT

Background and objectives: Probiotic quark cheeses contain microorganisms that have attracted increasing attention due to their positive effects on gut health and immune function. Enriching probiotic cheese with nutritional compounds can improve its nutritional and sensory quality. Lentil protein concentrate, a plant protein rich in essential amino acids and bioactive compounds, is an excellent candidate for fortification of dairy products. Transglutaminase enzyme is one of the transferase enzymes used in dairy product production, which results in improved cheese texture by creating intermolecular crosslinks. The aim of this paper is to investigate the effect of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme on the physicochemical, rheological, sensory and viability properties of *Lactobacillus plantarum* in probiotic quark cheese.

Article history:

Received: 2025-10-25

Revised: 2026-01-21

Accepted: 2026-02-22

Materials and methods: In this study, quark cheese was prepared from 1% fat milk, lentil protein concentrate (0, 2.5 and 5 g/L), transglutaminase enzyme (0, 1 and 2 U/g per gram of protein) and *Lactobacillus plantarum* (10^9 cfu/ml), and physicochemical, rheological, sensory and viability tests of *Lactobacillus plantarum* were performed on days 1, 30 and 60.

Results: According to the results, with increasing the concentration of lentil protein concentrate, the efficiency of quark cheese production increased significantly ($p < 0.05$). With increasing concentrations of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme, the survival of *Lactobacillus plantarum* significantly increased, but with the passage of storage time, the survival of *Lactobacillus plantarum* significantly decreased ($p < 0.05$). The increased survival of probiotic bacteria *Lactobacillus plantarum* can be attributed to the increased access of bacteria to nutrients from the protein concentrate and the effect of the enzyme on protein structure and improved access to the substrate. Although, increasing the concentration of lentil protein concentrate caused a significant increase in the dry matter, protein and ash content of quark cheese samples ($p < 0.05$), the effect of this increase on the fat content of cheese samples was not significant ($p > 0.05$). Based on the findings,

Keywords:

Lentil protein concentrate
Probiotic
quark cheese
transglutaminase enzyme

the addition of lentil protein concentrate had a significant effect on the textural parameters of quark cheese, including hardness, cohesion, springiness, gumminess and chewiness ($p < 0.05$), while the addition of transglutaminase enzyme had a non-significant effect on textural properties ($p > 0.05$). According to the results of sensory evaluation, the highest overall acceptance score was obtained for the sample containing 2.5 g/l lentil protein concentrate and 1 U/g transglutaminase enzyme.

Conclusion: In general, the appropriate combination of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme, while improving the probiotic properties of the product, can either improve the physicochemical, rheological and sensory properties of the product, increase the acceptability of the product and support their use in dairy analogues enriched with plant proteins.

Cite this article: Feizbashipour, R., Sedaghati, M., Larypoor, M. 2026. The effect of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme on the quality properties of probiotic quark cheese. *Food Processing and Preservation Journal*, 18(2), 55-72.



© The Author(s)



<https://doi.org/10.22069/fppj.2026.24198.1910>

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های کیفی پنیر کوارک پروبیوتیک

رکسانا فیض‌بشی پور^۱، مرجانه صداقتی^{۲*}، محدثه لاری پور^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

^۲ (نویسنده مسئول) استادیار علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

رایانامه: m.sedaghati8@iau.ac.ir; marjanehsedaghati@yahoo.com

^۳ دانشیار قارچ‌شناسی، گروه میکروبی‌شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: پنیرهای کوارک پروبیوتیک حاوی میکروارگانیسم‌هایی هستند که به دلیل اثرات مثبتشان بر سلامت روده و عملکرد سیستم ایمنی، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده‌اند. غنی‌سازی پنیر پروبیوتیک با ترکیبات مغذی می‌تواند کیفیت تغذیه‌ای و حسی آن را بهبود بخشد. کنسانتره پروتئین عدس، یک پروتئین گیاهی غنی از اسیدهای آمینه ضروری و ترکیبات زیست‌فعال، کاندیدای بسیار خوبی برای غنی‌سازی محصولات لبنی است. آنزیم ترانس گلوتامیناز، یکی از آنزیم‌های ترانسفراز مورد استفاده در تولید محصولات لبنی است که در نتیجه ایجاد پیوندهای عرضی بین مولکولی منجر به بهبود بافت پنیر می‌شود. هدف از این مقاله بررسی تأثیر کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلاتناروم در پنیر کوارک پروبیوتیک است.
واژه‌های کلیدی: آنزیم ترانس گلوتامیناز کنسانتره پروتئینی عدس پروبیوتیک پنیر کوارک	مواد و روش‌ها: در این تحقیق پنیر کوارک پروبیوتیک از شیر ۱٪ چربی، کنسانتره پروتئینی عدس (۵، ۲/۵، ۰ g/L)، آنزیم ترانس گلوتامیناز (۰، ۱، ۲ واحد به ازای هر گرم پروتئین) و لاکتوباسیلوس پلاتناروم (۱۰ ^۹ cfu/ml) تهیه شد و آزمون‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، حسی و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلاتناروم در روزهای ۱، ۳۰ و ۶۰ انجام گردید.
	یافته‌ها: طبق نتایج حاصل، با افزایش غلظت کنسانتره پروتئینی عدس، بازدهی تولید پنیر کوارک پروبیوتیک افزایش معنی‌دار داشت ($p < 0/05$). با افزایش غلظت کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز، زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلاتناروم به طور معنی‌داری افزایش یافت، اما با گذشت زمان نگهداری، زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلاتناروم به طور معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0/05$). افزایش بقا باکتری پروبیوتیک لاکتوباسیلوس پلاتناروم به افزایش دسترسی باکتری به مواد مغذی از کنسانتره پروتئین و تأثیر آنزیم بر ساختار پروتئینی و بهبود دسترسی به سوبسترا نسبت داده می‌شود. اگرچه، افزایش غلظت کنسانتره پروتئینی عدس سبب افزایش معنی‌دار محتوی ماده خشک، پروتئین و خاکستر نمونه‌های پنیر کوارک پروبیوتیک شد ($p < 0/05$)، تأثیر این افزایش بر محتوی چربی نمونه‌های پنیر غیرمعنی‌دار بود ($p > 0/05$). بر

اساس یافته‌ها، افزودن کنسانتره پروتئینی عدس به طور قابل توجهی بر پارامترهای بافتی پنیر کوارک پروبیوتیک، از جمله سختی، پیوستگی، فنی بودن، صمغیت و قابلیت جویدن تأثیر معنی‌دار داشت ($p < 0/05$)، در حالی که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز تأثیر غیرمعنی‌دار بر خواص بافتی داشت ($p > 0/05$). طبق نتایج ارزیابی حسی، بالاترین امتیاز پذیرش کلی برای نمونه حاوی ۲/۵ g/l کنسانتره پروتئین عدس و ۱ U/g آنزیم ترانس گلوتامیناز حاصل شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع، ترکیب مناسب کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز ضمن بهبود خاصیت پروبیوتیکی محصول می‌تواند یا بهبود خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی محصول، مقبولیت آن را افزایش دهد و از استفاده آنها در آنالوگ‌های لبنی غنی شده با پروتئین‌های گیاهی حمایت کند.

استناد: فیض بشی‌پور، رکسانا؛ صداقتی، مرجانه؛ لاری‌پور، محدثه. (۱۴۰۵). تأثیر کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های کیفی پنیر کوارک پروبیوتیک. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۸(۲)، ۷۲-۵۵.



<https://doi.org/10.22069/fppj.2026.24198.1910>

© نویسندگان



ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

پنیر، یک محصول لبنی است که در سال‌های اخیر به طور فزاینده‌ای مصرف می‌شود و سرشار از مواد مغذی است. این محصول دارای مزایای سلامتی بخش مانند بهبود متابولیسم و عملکرد فیزیکی بدن انسان است. پنیر کوارک یک پنیر تازه است که از شیر پاستوریزه با انعقاد اسید یا رنت تهیه می‌شود و دارای فواید تغذیه‌ای زیادی است و به عنوان بخشی از صبحانه روزانه توصیه می‌شود. علاوه بر این، پنیر کوارک طعم ملایم و کمی ترش و همچنین بافتی نسبتاً سبک، نرم و صاف دارد و بنابراین می‌تواند به عنوان حامل طعم عمل کند و برای بهبود ویژگی‌های بافتی محصولات غذایی مورد استفاده قرار گیرد (۱).

پنیرهای پروبیوتیک که حاوی میکروارگانیسم‌های زنده مفیدی مانند لاکتوباسیلوس‌ها و بیفیدوباکتریوم‌ها هستند، به دلیل اثرات مثبتشان بر سلامت روده و عملکرد سیستم ایمنی، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده‌اند. با این حال، چالش اصلی در تولید پنیر کوارک پروبیوتیک، حفظ بقای میکروارگانیسم‌های زنده مانند لاکتوباسیلوس‌ها و بیفیدوباکتریوم‌ها در طول دوره نگهداری است. عوامل محیطی مانند اسیدیته پایین، تغییرات رطوبت، دسترسی اکسیژن و کاهش مواد مغذی منجر به کاهش زنده‌مانی و کارایی پروبیوتیک‌ها می‌شود. علاوه بر این، بافت نرم و ویسکوزیته پایین کوارک، ثبات محصول را کاهش و پذیرش حسی مصرف‌کننده را پایین می‌آورد (۱، ۲).

برای مقابله با این چالش‌ها، غنی‌سازی فرمولاسیون با پروتئین‌های گیاهی و به‌کارگیری آنزیم‌های تقویت‌کننده بافت ضروری است. کنسانتره پروتئین عدس، یک پروتئین گیاهی غنی از اسیدهای آمینه ضروری و ترکیبات زیست‌فعال، کاندیدای بسیار خوبی برای غنی‌سازی محصولات لبنی است. این پروتئین سرشار از اسیدهای آمینه ضروری و ترکیبات

زیست‌فعال است که به بهبود کیفیت تغذیه‌ای پنیر کمک می‌کند. به‌کارگیری کنسانتره پروتئین عدس در فرآورده‌های لبنی می‌تواند بر بهبود کیفیت رئولوژیکی موثر باشد (۳). ترانس گلوتامیناز (TG)، یکی از آنزیم‌های ترانسفراز مورد استفاده در تولید محصولات لبنی است که واکنش انتقال آسیل بین گاما کربوکسی آمید اسید آمینه گلوتامین و آمین‌های نوع اول در اسیدآمینه لیزین را کاتالیز می‌کند و در نتیجه پیوندهای عرضی درون‌مولکولی و بین‌مولکولی منجر به بهبود بافت پنیرها می‌شود (۴).

تاکنون در تحقیقات مختلف از کنسانتره‌های پروتئینی گیاهی و آنزیم ترانس گلوتامیناز به صورت جداگانه به منظور بهبود خواص فرآورده‌های لبنی استفاده شده است (۵). در تحقیقی اثر ترانس گلوتامیناز میکروبی بر خواص عملکردی، رئولوژیکی و ساختاری ژل‌های پروتئینی عدس-کازئین مورد بررسی قرار گرفت (۶). در پژوهشی به‌کارگیری پروتئین‌های گیاهی همراه با تیمارهای آنزیمی مانند ترانس گلوتامیناز در محصولات لبنی برای افزایش خواص عملکردی و خصوصیات تغذیه‌ای مورد بحث قرار گرفت (۷). اما تا کنون تحقیقی در زمینه تولید پنیر کوارک پروبیوتیک با استفاده از کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز انجام نشده است. این تحقیق به عنوان یک نوآوری، اولین رویکرد ترکیبی برای حل چالش‌های بافتی و میکروبی پنیر کوارک محسوب می‌شود. بنابراین، اهداف این پژوهش شامل ارزیابی تأثیر سطوح مختلف کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، میکروبی و حسی پنیر کوارک پروبیوتیک است.

مواد و روش ها

مواد مورد نیاز: این پژوهش در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران (آزمایشگاه تحقیقاتی گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی) انجام شد. به منظور انجام این پژوهش، عدس رقم kailas از بازار محلی همدان تهیه شد. *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (PTCC 1058) لیوفیلیزه از سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران و استارتر مزوفیل از شرکت دنیسکو تهیه شد. آنزیم ترانس گلوتامیناز با فعالیت اختصاصی تقریبی ۱۰۰ واحد آنزیمی در هر گرم پودر از شرکت دیرچی (ایران) خریداری شد. محیط کشت MRS آگار^۱، MRS براث^۲، و نکوماسین و مواد شیمیایی از شرکت مرک (آلمان) خریداری شد.

روش ها

تهیه کنسانتره پروتئینی عدس: برای تهیه کنسانتره پروتئینی عدس طبق روش کو و همکاران (۲۰۱۷)، دانه های عدس به مدت ۱۲ ساعت در آب مقطر خیسانده، خرد، در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد خشک و از الک با مش ۶۰ عبور داده شدند تا آرد عدس تولید شود. آرد عدس با خیساندن به مدت ۸ ساعت در اتانول ۹۵٪ و استخراج با دستگاه سوکسله چربی گیری شد، سپس خشک و آسیاب شد تا پودر عدس بدون چربی به دست آید. برای استخراج پروتئین، آرد بدون چربی در نسبت ۱:۱۰ (وزن/حجم) با محلول هیدروکسید سدیم مخلوط و pH محلول در محدوده ۹ تنظیم گردید. محلول به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق هم زده و سپس در ۱۰،۰۰۰ g به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سوپرناتانت جمع آوری و با اسید کلریدریک در محدوده pH برابر ۴/۵ (نقطه ایزوالکتریک پروتئین عدس) تنظیم شد تا رسوب

پروتئینی تشکیل شود. رسوب پروتئینی با آب مقطر شست و شو داده شد، سپس در آون با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد خشک گردید و پودر حاصل از الک با مش ۶۰ عبور داده شد تا کنسانتره پروتئین عدس به دست آید. ترکیب شیمیایی کنسانتره نشان داد که نمونه دارای ۶۸/۲۴٪ پروتئین و ۰/۳٪ چربی بود (۸).

تهیه پنیر کوارک: شیر پس چرخ با خامه (۳۰٪ چربی) به صورتی مخلوط شد تا شیر با درصد چربی ۱٪ تهیه شود. در ادامه پودر کنسانتره پروتئینی عدس (۰ g/L، ۲/۵ و ۵) به نمونه های شیر اضافه شد. شیر استاندارد شده در دمای ۶۴ درجه سانتیگراد و به مدت ۳۰ دقیقه در ظرف استیل همزمان با هم زدن غیرمداوم روی همزن مغناطیسی گرم کن دار پاستوریزه شد. پس از خنک شدن تا دمای ۳۵ درجه سانتیگراد، کلرید کلسیم به میزان ۰/۱ گرم به ازای هر کیلوگرم شیر و استارتر پنیر (دنیسکو) به مقدار ۲۲/۸۶ میلی گرم برای هر کیلوگرم شیر در دمای فوق به آن اضافه شد. حدود ۱۲۰ دقیقه بعد از افزودن استارتر تا رسیدن pH شیر به ۶/۳، مایه پنیر تجاری (۰/۲۵ گرم رنت به ازای هر کیلوگرم شیر)، به آن اضافه و به خوبی مخلوط شد و ۵۰ دقیقه برای تشکیل لخته به آن فرصت داده شد. همزمان با رنت، آنزیم ترانس گلوتامیناز در مقادیر (۰، ۱ و ۲ واحد به ازای هر گرم پروتئین) و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (10^9 cfu/ml) به شیر افزوده شد. پس از تشکیل دلمه و برش دادن، قطعات برش خورده در کیسه های پارچه ای مخصوص پنیر ریخته شده و در محیط آزمایشگاه به مدت ۴ ساعت آویزان شد تا آب پنیر آن خارج گردد. در مرحله بعد، دلمه پنیر از کیسه پارچه ای خارج گردید و پنیر کوارک حاصله در کیسه های زیپ لاک بسته بندی و در یخچال نگهداری شد و آزمون های مربوطه در روزهای ۱، ۳۰ و ۶۰ انجام گردید (۹).

¹ De Man, Rogosa and Sharpe Agar

² De Man, Rogosa and Sharpe Broth

ارزیابی بازده تولید پنیر: بازده تولید پنیر از تقسیم کردن وزن پنیر تولیدی به وزن شیر مصرف‌شده برای تولید پنیر محاسبه گردید (۹).

ارزیابی خواص فیزیکوشیمیایی پنیر: مقدار pH توسط pH متر دیجیتالی (crison، اسپانیا)، ماده خشک به وسیله آون (fineTech، کره)، خاکستر به وسیله کوره (shimaz، ایران)، چربی به روش ژربر و پروتئین به روش کلدال اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری چربی، نمونه پنیر در بوتیرومتر قرار داده شد و سپس اسید سولفوریک غلیظ و الکل ایزوآمیل به آن افزوده گردید. بوتیرومترها پس از اختلاط در حمام آب گرم، در سانتیفریوژ مخصوص ژربر با سرعت مناسب سانتیفریوژ شدند و در نهایت ستون چربی تشکیل‌شده در ساقه مدرج بوتیرومتر قرائت شد. برای تعیین پروتئین کل، ۱ گرم نمونه پنیر همراه با اسید سولفوریک و مخلوط کاتالیزور هضم گردید. پس از افزودن سدیم هیدروکسید به محلول، آمونیاک حاصل به درون محلول گیرنده (اسید بوریک ۴٪ همراه با شناساگر) تقطیر گردید. محلول گیرنده با اسید هیدروکلریک استاندارد تیترو شد و درصد نیتروژن کل محاسبه و درصد پروتئین با ضرب مقدار نیتروژن در فاکتور تبدیل ۶/۳۸ محاسبه شد (۱۰).

آزمون بافت: آزمون پروفیل بافت (TPA^۱) متداول‌ترین آزمون تقلیدی مورد استفاده می‌باشد که نمونه به تقلید از انسان در طی عمل جویدن دو بار فشرده می‌شود. TPA توسط دستگاه سنجش بافت (santam، ایران) با استفاده از پروپ شماره P 0.5 S انجام شد. سرعت پروپ ۱ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد و سرعت پروپ قبل و پس از آزمون به ترتیب ۲ و ۱ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم گردید. در این آزمون ویژگی‌های سفتی (محاسبه حداکثر نیروی فشرده‌گی در

سیکل اول)، پیوستگی (نسبت کار انجام شده در سیکل دوم به سیکل اول)، فنریت (زمان بین دو سیکل)، صمغیت (حاصل ضرب سفتی در پیوستگی) و قابلیت جویدن (حاصل ضرب صمغیت در فنریت) بررسی شد. نمونه‌های پنیر قبل از آزمون به مدت ۳۰ دقیقه خارج از یخچال برای رسیدن به دمای ثابت نگهداری شدند (۱۰).

ارزیابی بقا باکتری لاکتوباسیلوس پلانتروم: برای آنالیز میکروبی، ۱۰ گرم از نمونه پنیر با ۹۰ میلی‌لیتر محلول نمکی استریل همگن شدند تا رقت اولیه (۱۰^{-۱}) به دست آید. پس از رقت‌سازی تا رقت ۱۰^{-۱۰}، شمارش لاکتوباسیلوس پلانتروم با استفاده از تکنیک پورپلیت بر روی محیط کشت آگار MRS حاوی ونکومایسین (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) انجام شد. متعاقباً، پلیت‌های کشت داده‌شده در انکوباتور CO₂ دار (memmert، آلمان) در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد به مدت ۷۲ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. نتایج شمارش باکتری‌ها به صورت Log cfu/g گزارش شدند (۱۱).

ارزیابی حسی: گروهی متشکل از ۱۵ نفر از دانشجویان آموزش‌دیده صنایع غذایی، شامل ۸ زن و ۷ مرد ۲۰ تا ۳۰ ساله، پارامترهای حسی نمونه‌های پنیر را با استفاده از یک مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای از ۱ (خیلی ضعیف) تا ۵ (خیلی خوب) ارزیابی کردند. این پارامترها شامل رنگ، طعم، بو، بافت و پذیرش کلی بودند که در روز شصتم نگهداری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند (۱۱).

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق، تأثیر غلظت کنسانتره پروتئینی عدس، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و زمان نگهداری بر اساس طرح فاکتوریل سه‌عاملی کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. همچنین داده‌های تأثیر این سه عامل بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبی

¹ Texture Profile Analysis

نتایج و بحث

ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه آرد

عدس و کنسانتره پروتئینی عدس: جدول ۱ نتایج

خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های آرد عدس و کنسانتره پروتئینی حاصل را نشان می‌دهد. طبق جدول زیر، نمونه کنسانتره پروتئینی عدس رطوبت و چربی پایین‌تر از آرد عدس داشت اما محتوی پروتئین کنسانتره پروتئینی عدس بیشتر از نمونه آرد عدس بود. با این حال، تفاوتی در محتوی خاکستر مشاهده نشد.

جدول ۱- نتایج آزمون‌های تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد عدس و کنسانتره پروتئینی عدس

Table 1. Results of characteristics of physicochemical properties of lentils and lentil protein concentrate

آزمون Test	رطوبت (%) Moisture (%)	خاکستر (%) Ash (%)	چربی (%) Fat (%)	پروتئین (%) Protein (%)
آرد عدس	6.81±0.2	0.375±0.07	0.71±0.02	25.70±0.4
کنسانتره پروتئینی عدس	2.96±0.5	0.375±0.04	0.3±0.08	68.24±0.6

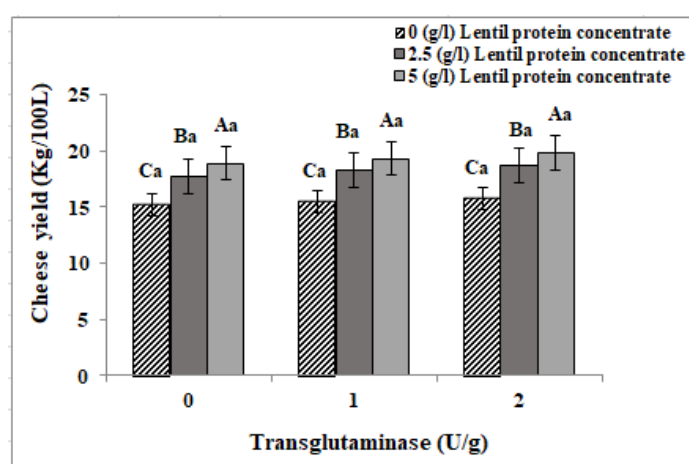
ارزیابی بازده تولید پنیر کوارک: شکل ۱ و ۲

تغییرات بازدهی تولید پنیر را در نمونه‌های پنیر کوارک در غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز را نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل، اثر اصلی غلظت کنسانتره پروتئین عدس بر بازدهی تولید پنیر معنی‌دار بود ($p < 0.05$)، در حالی‌که اثر اصلی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و اثر متقابل کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). به نظر می‌رسد. در هر سه سطح ترانس‌گلوتامیناز، افزایش غلظت کنسانتره پروتئینی عدس از ۰ به ۲/۵ و ۵ باعث افزایش تدریجی بازدهی پنیر شده است. نمونه‌های حاوی ۵ g/l کنسانتره پروتئینی عدس در تمام سطوح ترانس‌گلوتامیناز بالاترین بازده تولید را داشته‌اند، در حالی‌که نمونه شاهد بدون کنسانتره پروتئینی عدس کمترین بازده را نشان می‌دهد؛ حروف بزرگ متفاوت روی ستون‌ها این اختلاف را درون هر

سطح آنزیم نشان می‌دهد. میانگین بازده تولید در تیمار شاهد برابر با ۱۵/۵±۰/۴ درصد بود، در تیمار حاوی ۲/۵ g/l کنسانتره پروتئین عدس ۱۸/۲۳±۰/۵ درصد و در تیمار حاوی ۵ g/l کنسانتره مقدار ۱۹/۴۱±۰/۶ درصد بود که نسبت به گروه شاهد به ترتیب حدود ۱۷/۶٪ و ۲۵/۲٪ افزایش را آشکار می‌سازند. چنین روند صعودی می‌تواند ناشی از قابلیت بالای پروتئین‌های گیاهی عدس در جذب و نگهداری آب، ایجاد شبکه ژلی و افزایش ظرفیت اتصال به مواد جامد شیر باشد. پروتئین‌های عدس به دلیل داشتن گروه‌های هیدروفیل و آمفوتر، می‌توانند به عنوان عوامل امولسیفایر و تثبیت‌کننده در ماتریس پنیر عمل کنند و از دست‌دهی رطوبت در طی فرآیند تولید جلوگیری نمایند. بنابراین افزایش بازده تنها ناشی از حفظ رطوبت نیست، بلکه بخشی از آن به دلیل افزایش مواد جامد (پروتئین و مواد معدنی) در ماتریس پنیر است (۷). از سوی دیگر، اثر اصلی آنزیم

محصولات شیری از طریق ایجاد پیوندهای ایزوپپیدی بین پروتئین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما به نظر می‌رسد در حضور مقادیر بالای پروتئین گیاهی با ساختار متفاوت، اثر شبکه‌ای آنزیم ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد یا به حد کافی بر بازده کل تأثیر نگذارد. همچنین احتمال دارد دوز آنزیم به‌کاررفته برای بروز اثر سینرژستیک با پروتئین عدس کافی نبوده باشد (۴).

ترانس‌گلوتامیناز و همچنین اثر متقابل آن با کنسانتره پروتئینی عدس بر بازده، معنی‌دار نبود. این نتیجه می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که در این سیستم خاص، مکانیسم افزایش بازده بیشتر متکی به خواص عملکردی پروتئین عدس (مانند ظرفیت جذب آب و تشکیل ژل) است تا ایجاد پیوندهای کووالانسی بین پروتئین‌ها توسط آنزیم. هرچند آنزیم ترانس‌گلوتامیناز به‌طور گسترده‌ای برای بهبود بافت و بازده در



شکل ۱- تغییرات بازدهی تولید پنیر کوارک حاوی غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

میانگین‌ها و حروف بزرگ (A-C) تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها (غلظت‌های مختلف کنسانتره عدس) را در هر غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نشان می‌دهند، در حالی که حروف کوچک (a-c) تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها (غلظت‌های مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز) را در هر غلظت کنسانتره پروتئین عدس نشان می‌دهند

Figure 1. Changes in the production efficiency of quark cheese containing different concentrations of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme

Means and uppercase letters (A-C) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments (various levels of lentil protein concentrate) at each concentration of transglutaminase enzyme, while lowercase letters (a-c) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments (various levels of transglutaminase enzyme) at each concentration of lentil protein concentrate

همکاران (۲۰۲۱) در بررسی خصوصیات تغذیه‌ای و رئولوژیکی ماست حاوی کنسانتره پروتئینی عدس گزارش کردند که کنسانتره پروتئینی عدس به دلیل خواص فنی-عملکردی خود سبب بهبود عملکرد ماست تولیدی می‌شود (۱۳).

ارزیابی تغییرات pH پنیر کوارک: شکل ۲ تغییرات pH و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلاتناروم را در نمونه‌های پنیر کوارک حاوی غلظت‌های مختلف

آل‌حسینی و همکاران (۲۰۲۵) در بررسی تأثیر پروتئین‌های حبوبات، مانند نخود یا عدس، بر محصولات لبنی نظیر پنیر اثرات قابل توجه پروتئین عدس بر عملکرد و کیفیت بافت را گزارش کرده‌اند (۱۲). رشیدی (۲۰۱۰) در ارزیابی خواص فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر سفید کم چرب با افزودن کنسانتره پروتئینی، افزایش راندمان تولید پنیر را با افزایش غلظت کنسانتره مشاهده کردند (۱۰). بیوک و

کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز در طول مدت نگهداری نشان می‌دهد. طبق نتایج حاصل، میانگین pH نمونه‌های پنیر کوارک در تیمارهای مختلف بین 4.32 ± 0.08 تا 5.91 ± 0.1 متغیر بود. اگرچه تأثیر غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئین عدس و زمان نگهداری، pH نمونه‌های پنیر کوارک را به طور معنی‌داری کاهش داد ($p < 0.05$)، اما وجود آنزیم ترانس گلوتامیناز، pH نمونه‌های پنیر را به طور معنی‌داری افزایش داد ($p < 0.05$). همچنین اثر متقابل بین غلظت کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز، غلظت کنسانتره پروتئینی عدس و زمان، آنزیم ترانس گلوتامیناز و زمان و اثرات سه‌گانه عوامل مذکور بر pH نمونه‌ها معنی‌دار بود ($p < 0.05$). در ارتباط با زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم، میانگین شمارش باکتری‌ها در محدوده 7.95 ± 0.4 تا 4.22 ± 0.3 log cfu/g قرار داشت. از سوی دیگر، با افزایش غلظت کنسانتره پروتئین و ترانس گلوتامیناز، زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم به طور معنی‌داری افزایش یافت (به ترتیب حدود $1.0/2\%$ و $1.1/9\%$)، اما با گذشت زمان نگهداری، زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم به طور معنی‌داری (حدود 23%) کاهش یافت ($p < 0.05$). طبق نتایج حاصل، اثر متقابل بین غلظت کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز، غلظت کنسانتره پروتئینی عدس و زمان، آنزیم ترانس گلوتامیناز و زمان و اثرات سه‌گانه عوامل مذکور بر زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانتاروم معنی‌دار بود ($p < 0.05$).

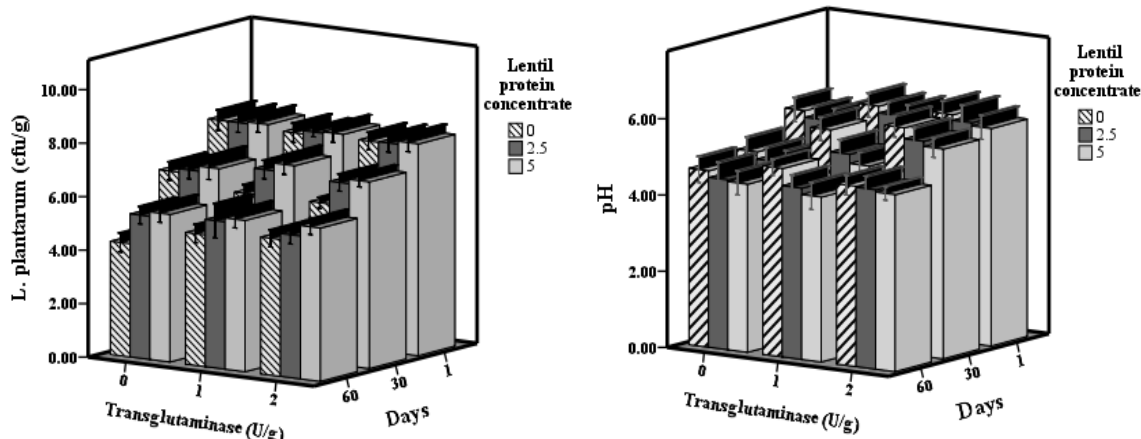
به نظر می‌رسد که سطوح بالاتر کنسانتره پروتئین عدس، همراه با زمان نگهداری طولانی‌تر، احتمالاً به دلیل افزایش تخمیر میکروبی یا تخریب پروتئین و آزاد شدن اسیدهای آلی، سبب افزایش اسیدیته می‌شود (۱۴). از طرفی آنزیم ترانس گلوتامیناز با کاتالیز پیوند عرضی بین گروه γ -کربونیل اسید آمینه گلوتامین و

گروه ϵ -آمین اسید آمینه لیزین عمل می‌کند. در این فرآیند، بخشی از گروه‌های آزاد اسیدی و آمینی در شبکه پروتئینی تثبیت می‌شوند. کاهش دسترسی به گروه‌های اسیدی آزاد می‌تواند تعادل یونی ماتریس پنیر را تغییر داده و در نتیجه موجب افزایش pH نمونه‌ها گردد (۱۵). در ارتباط با تأثیر مثبت کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر بقای لاکتوباسیلوس پلانتاروم، به نظر می‌رسد ایزوله پروتئین عدس علاوه بر تأمین نیتروژن و اسیدهای آمینه ضروری، حاوی ترکیباتی است که می‌توانند به عنوان منابع انرژی و فاکتورهای رشد برای باکتری عمل کنند. این ترکیبات موجب بهبود شرایط تغذیه‌ای و کاهش استرس محیطی برای باکتری می‌شوند. از سوی دیگر، آنزیم ترانس گلوتامیناز با ایجاد شبکه پروتئینی پایدارتر، ریز محیط‌های محافظتی در ماتریس پنیر فراهم می‌کند که می‌تواند با کاهش نفوذپذیری به اسیدهای آلی و ترکیبات بازدارنده، شرایط زیست‌پذیرتری برای باکتری ایجاد کند. بنابراین، ترکیب این دو عامل نه تنها دسترسی به مواد مغذی و سوستر را افزایش می‌دهد، بلکه با ایجاد محیطی پایدارتر و کاهش تنش‌های ناشی از اسیدیته و تجمع متابولیت‌ها، بقای لاکتوباسیلوس پلانتاروم را بهبود می‌بخشد.

با این حال، همانطور که در محصولات پنیر پروبیوتیک معمول است، زمان نگهداری تأثیر منفی بر زنده‌مانی باکتری‌ها گذاشت و باعث کاهش قابل توجه تعداد لاکتوباسیلوس پلانتاروم با نگهداری طولانی‌مدت در یخچال شد. این کاهش مربوط به محدودیت در تأمین مواد مغذی، تجمع اسیدها و عوامل استرس‌زای مداوم در ماتریکس پنیر در طول نگهداری است. معنادار بودن کلیه اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر pH و زنده‌مانی باکتری نشان‌دهنده پویایی و پیچیدگی بالای سیستم فرموله‌شده است. این

آنزیم را در بهبود ساختار ژل و تأثیر بالقوه آن را بر pH نشان دادند (۶، ۷). حبیبی و همکاران (۲۰۲۴) به‌طور خاص گزارش کردند که آنزیم ترانس‌گلوتامیناز باعث افزایش pH در سیستم‌های پنیر می‌شود و از مکانیسم کلیدی کاهش انتشار اسید ناشی از اتصال عرضی آنزیمی پشتیبانی می‌کند. مظفرپور و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست پروبیوتیک حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، بهبود بقا باکتری‌های پروبیوتیکی را در نمونه‌های ماست فراسودمند حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز گزارش کردند (۱۶).

نتایج به وضوح حاکی از آن است که اثر هر یک از عوامل (پروتئین عدس، آنزیم و زمان) به حضور و سطح عوامل دیگر وابسته است و نمی‌توان آن‌ها را به صورت مستقل و خطی در نظر گرفت. لذا، اثر مثبت پروتئین عدس بر زنده‌مانی پروبیوتیک ممکن است در حضور آنزیم و در زمان‌های مختلف نگهداری، شدت و الگوی متفاوتی داشته باشد. به‌طور مشابه، نقش تعدیل‌کننده آنزیم بر pH نیز وابسته به غلظت پروتئین عدس و مرحله نگهداری است. مشابه، تانگ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه ترکیب کنسانتره پروتئین عدس-کازئین و تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، نقش



شکل ۲- تغییرات pH (الف) و زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلانٹاروم (ب) در پنیر کوارک حاوی غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز

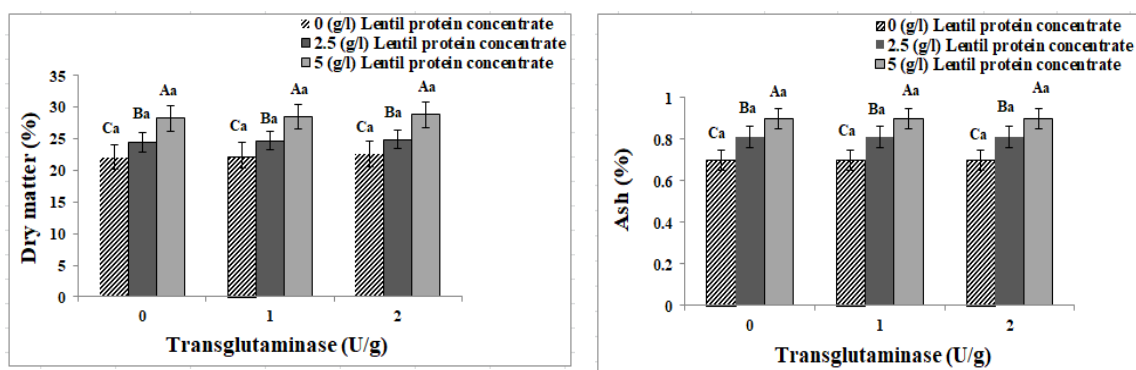
Figure 2. Changes in the pH (a) and *L. plantarum* (b) of quark cheese containing different concentrations of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme

محتوی ماده خشک و خاکستر نمونه‌های پنیر کوارک معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). طبق نتایج، افزایش غلظت کنسانتره پروتئین عدس از نمونه شاهد (صفر) به ۵ گرم بر لیتر در نمونه تیمار، سبب افزایش ماده خشک از 22.12 ± 0.2 تا 28.85 ± 0.5 و افزایش خاکستر از 0.7 ± 0.05 تا 0.9 ± 0.08 درصد گردید. به نظر می‌رسد پروتئین‌های عدس نه تنها خود به عنوان جزء جامد عمل می‌کنند، بلکه به دلیل ظرفیت بالای جذب

ارزیابی تغییرات ماده خشک و خاکستر در پنیر کوارک: شکل ۳ تغییرات ماده خشک و خاکستر نمونه‌های پنیر کوارک حاوی غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز را نشان می‌دهد. اگر چه تأثیر غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی بر محتوی ماده خشک و خاکستر نمونه‌های پنیر معنی‌دار بود ($p < 0.05$)، افزایش غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و اثر متقابل بین دو عامل بر

ترانس گلوتامیناز رخ داده و این دو ماده در این پارامترها به صورت سینرژیستیک یا آنتاگونیستی عمل نکرده‌اند. در نتیجه، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کنسانتره پروتئین عدس به عنوان یک راهکار مؤثر برای غنی‌سازی ماده خشک و افزایش ارزش معدنی پنیر کوارک مطرح است. مشابه کریمی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تولید ماست کم‌چرب عملگرا غنی‌شده با کنسانتره پروتئینی سویا افزایش معنی‌دار محتوی ماده خشک را با افزایش غلظت کنسانتره پروتئینی سویا گزارش کردند (۱۷). منصور و همکاران (۲۰۲۵) در بررسی تولید پنیر فرآوری غنی‌شده با کنسانتره پروتئین سویا افزایش معنی‌دار محتوی ماده خشک و خاکستر را با افزایش درصد کنسانتره پروتئینی سویا مشاهده کردند (۱۸). یوشکالو و همکاران (۲۰۲۵) نیز افزایش خاکستر نمونه‌های پنیر فرآوری‌شده را با افزایش درصد کنسانتره پروتئینی سویا گزارش کردند (۱۹).

و نگهداری آب، ممکن است با کاهش آب قابل دسترس، درصد ماده خشک کل را بیشتر افزایش دهند. افزایش همزمان و معنادار محتوای خاکستر نیز تأیید می‌کند که کنسانتره پروتئینی عدس منبع قابل توجهی از املاح معدنی (مانند پتاسیم، منیزیم، فسفر و آهن) است که به طور طبیعی در بافت گیاهی وجود دارند و طی فرآیند تهیه کنسانتره در محصول نهایی باقی می‌مانند. این یافته با ماهیت کلی ترکیبات گیاهی که معمولاً محتوای خاکستر بالاتری نسبت به فرآورده‌های شیری خالص دارند، هم‌خوانی کامل دارد. عدم تأثیر معنادار آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ماده خشک و خاکستر نشان می‌دهد که عملکرد اصلی این آنزیم در این سیستم، تغییر کیفی در ساختار پروتئین‌ها (ایجاد پیوندهای عرضی) است و نه افزودن جرم یا مواد معدنی جدید به ماتریس پنیر. همچنین، اثر متقابل غیرمعنادار دو عامل حاکی از آن است که تأثیر افزایشی کنسانتره پروتئینی عدس بر ماده خشک و خاکستر، مستقل از حضور یا عدم حضور آنزیم آنزیم



شکل ۳- تغییرات ماده خشک (الف) و خاکستر (ب) پنیر کوارک حاوی غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز

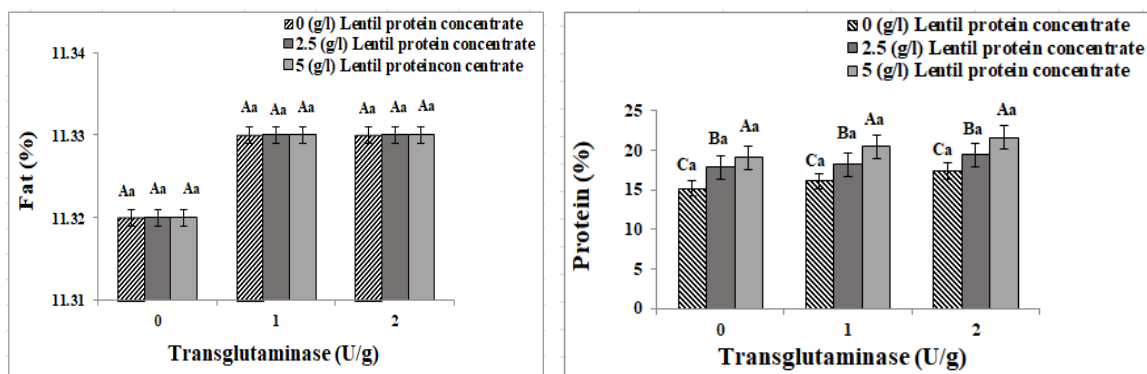
میانگین‌ها و حروف بزرگ (A-C) تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها (غلظت‌های مختلف کنسانتره عدس) را در هر غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز نشان می‌دهند، در حالی که حروف کوچک (a-c) تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها (غلظت‌های مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز) را در هر غلظت کنسانتره پروتئین عدس نشان می‌دهند.

Figure 3. Changes in the dry matter (a) and ash (b) of quark cheese containing different concentrations of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme

Means and uppercase letters (A-C) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments (various levels of lentil protein concentrate) at each concentration of transglutaminase enzyme, while lowercase letters (a-c) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments (various levels of transglutaminase enzyme) at each concentration of lentil protein concentrate

ارزیابی تغییرات محتوی چربی و پروتئین در پنیر کوارک: شکل ۴ تغییرات محتوی چربی و پروتئین نمونه‌های پنیر کوارک حاوی غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز را نشان می‌دهد. طبق نتایج، میانگین پروتئین نمونه‌ها در محدوده 15.2 ± 0.2 تا 21.6 ± 0.1 درصد قرار داشت. تاثیر غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس بر محتوی پروتئین نمونه‌های پنیر کوارک معنی‌دار بود ($p < 0.05$) اما غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس تاثیر غیر معنی‌دار بر محتوی چربی نمونه‌های پنیر کوارک داشت ($p > 0.05$). افزایش غلظت کنسانتره پروتئین عدس از نمونه شاهد (صفر) به 5 g/l در نمونه تیمار، سبب افزایش محتوی پروتئین از 16.23 ± 0.4 درصد به 20.39 ± 0.3 درصد گردید. همچنین تاثیر افزایش غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر محتوی چربی و پروتئین نمونه‌های پنیر کوارک معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). اثر متقابل بین غلظت کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نیز بر هر دو ویژگی چربی و پروتئین غیر معنی‌دار گزارش شد ($p > 0.05$). این نتایج به وضوح نشان می‌دهد که کنسانتره پروتئین عدس به‌عنوان یک منبع پروتئین، قادر است ماتریس پنیر را بدون ایجاد اختلال عمده در فرآیند تولید، غنی‌سازی کند. چنین افزایشی نه تنها از نظر تغذیه‌ای (افزایش ارزش پروتئینی محصول) حائز اهمیت است، بلکه می‌تواند بر ویژگی‌های عملکردی پنیر مانند ظرفیت اتصال آب، پایداری امولسیون و در نهایت بافت نهایی نیز تأثیر بگذارد، زیرا پروتئین‌های گیاهی عدس می‌توانند در شبکه پروتئینی پنیر ادغام شوند. در مقابل، عدم تأثیر معنی‌دار کنسانتره پروتئین عدس بر محتوی چربی نمونه‌ها، انتظاری منطقی است؛ زیرا کنسانتره پروتئین عدس به‌طور طبیعی منبع چربی محسوب نمی‌شود و

فرآورده‌های غنی‌سازی و تغلیظ آن عمدتاً بر افزایش نسبت پروتئین متمرکز است. بنابراین، افزودن آن ترکیب چربی ذاتی شیر یا خامه را در فرمولاسیون تغییر نمی‌دهد که در این مطالعه از نظر آماری معنی‌دار نبوده است (۱۴). از سوی دیگر، عدم تأثیر معنی‌دار آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر محتوی پروتئین و چربی، نکته دیگری است که عملکرد این آنزیم را به وضوح روشن می‌سازد. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز یک کاتالیزور آنزیمی است که با ایجاد پیوندهای عرضی (ایزوپپیدی) بین مولکول‌های پروتئین، ساختار شبکه پروتئینی را بدون افزودن یا کاستن از مقدار جرم پروتئین تغییر می‌دهد. بنابراین، انتظار نمی‌رود که بر میزان پروتئین کل (که یک کمیت شیمیایی است) تأثیر بگذارد. همچنین، عدم معنی‌داری اثر متقابل بین کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر هر دو پارامتر، حاکی از آن است که آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در غلظت‌های مورد استفاده، بر قابلیت اندازه‌گیری یا استخراج شیمیایی پروتئین‌های اضافه‌شده از عدس تأثیری ندارد (۶). حبیبی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی کنسانتره پروتئینی سویا و پودر جوانه جودوسر بر پنیر فتا افزایش معنی‌دار محتوی پروتئین را در نمونه پنیر با افزایش غلظت کنسانتره پروتئینی سویا گزارش کردند (۲۰). یوشکا و همکاران (۲۰۲۵) در بررسی تاثیر پروتئین‌های گیاهی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی پنیر فرآوری‌شده افزایش معنی‌دار محتوی پروتئین و افزایش محدود چربی پنیر را با افزایش کنسانتره پروتئینی سویا گزارش کردند (۱۹). فام و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تاثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی پنیر تازه افزایش محتوی پروتئین را مشاهده کردند که به نظر می‌رسد به دلیل استفاده از مقادیر بالاتر پروتئین باشد (۲۱).



شکل ۴- تغییرات محتوی چربی (الف) و پروتئین (ب) پنیر کوارک حاوی غلظت‌های مختلف کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز

میانگین‌ها و حروف بزرگ (A-C) تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها (غلظت‌های مختلف کنسانتره عدس) را در هر غلظت آنزیم ترانس گلوتامیناز نشان می‌دهند، در حالی‌که حروف کوچک (a-c) تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها (غلظت‌های مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز) را در هر غلظت کنسانتره پروتئین عدس نشان می‌دهند.

Figure 4. Changes in the fat content (a) and protein (b) of quark cheese containing different concentrations of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme
Means and uppercase letters (A-C) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments (various levels of lentil protein concentrate) at each concentration of transglutaminase enzyme, while lowercase letters (a-c) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments (various levels of transglutaminase enzyme) at each concentration of lentil protein concentrate

نمونه‌های حاوی بیشترین مقدار کنسانتره پروتئین عدس مشاهده شد، در حالی‌که کمترین مقادیر در نمونه‌های با کمترین مقدار کنسانتره پروتئین عدس مشاهده شد. نتایج حاصل از آنالیز پروفایل بافت در این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر بارز و معنادار کنسانتره پروتئین عدس بر بهبود ساختار مکانیکی پنیر کوارک است. افزایش معنی‌دار تمامی پارامترهای کلیدی بافت، شامل سفتی، فنری بودن، انسجام، صمغی بودن و قابلیت جویدن، با افزایش غلظت کنسانتره پروتئین عدس، به‌وضوح حاکی از نقش این ماده در ایجاد یک شبکه پروتئینی قوی‌تر و یکپارچه‌تر است. این بهبود ساختاری را می‌توان به‌طور همزمان با افزایش ماده خشک مشاهده‌شده در نتایج مرتبط دانست (از ۲۲/۲٪ به ۲۸/۸۵٪). افزایش ماده خشک، به‌خودی‌خود، با کاهش نسبت رطوبت آزاد و افزایش غلظت اجزای جامد، منجر به تشکیل ماتریس متراکم‌تر و در نتیجه افزایش مقادیر سفتی و قابلیت جویدن می‌شود (۶).

ارزیابی خصوصیات پروفیل بافت (TPA): بافت نقش مهمی در تعیین پذیرش یک محصول توسط مصرف‌کننده دارد. آنالیز پروفایل بافت (TPA) یک تکنیک ابزاری است که فرآیند جویدن غذا در دهان را شبیه‌سازی می‌کند. در این مطالعه، نمونه‌های پنیر از نظر خصوصیات بافتی مانند سفتی، فنری بودن، انسجام، صمغی بودن و قابلیت جویدن ارزیابی شدند (۲۰). بر اساس یافته‌ها، افزودن کنسانتره پروتئینی عدس به‌طور قابل‌توجهی بر پارامترهای بافتی پنیر کوارک، از جمله سختی، فنری بودن، انسجام، صمغی بودن و قابلیت جویدن، تأثیر معنی‌دار داشت ($p < 0.05$)، در حالی‌که افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز و اثر متقابل بین غلظت کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز نیز تأثیر غیرمعنی‌دار بر این خواص داشت ($p > 0.05$). همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، بالاترین مقادیر سفتی و انسجام، صمغی بودن، فنری بودن و قابلیت جویدن در

فرآیند تشکیل یک شبکه ترکیبی متراکم‌تر و متقاطع‌تر، توجیه‌کننده بهبود همزمان تمامی جنبه‌های بافت ارزیابی شده است (۱، ۱۹). در مقابل، عدم تأثیر معنادار آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر پارامترهای بافتی در این سیستم خاص، بسیار قابل تأمل است. این عدم معناداری ممکن است به این دلیل باشد که شبکه ایجادشده توسط خود پروتئین‌های عدس در غلظت‌های بالا، آنقدر قوی و متراکم است که اثرات افزایشی ناشی از اتصالات آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز در مقایسه با آن، ناچیز و از نظر آماری غیرقابل تشخیص باشد. همچنین، عدم وجود اثر متقابل معنادار بین کنسانتره پروتئین عدس و ترانس‌گلوتامیناز تأیید می‌کند که مکانیسم بهبود بافت توسط کنسانتره پروتئین عدس غالب است (۹).

علاوه بر این، افزایش مشاهده‌شده در صمغی بودن و قابلیت جویدن با غلظت بالاتر کنسانتره پروتئین عدس، با بافت سفت‌تر و منسجم‌تر همراه است و نشان می‌دهد که پروتئین عدس به بافتی الاستیک‌تر و انعطاف‌پذیرتر کمک می‌کند. این حس دهانی بهبودیافته می‌تواند پذیرش مصرف‌کنندگانی را که پنیرهای دارای ساختار محکم‌تر و جویدنی‌تر را ترجیح می‌دهند، افزایش دهد. این تغییرات کیفی فراتر از تأثیر ساده افزایش ماده خشک است و نشان می‌دهد که کنسانتره پروتئین عدس به طور فعال در شبکه پروتئینی سهمیم شده است. پروتئین‌های گیاهی عدس، به دلیل داشتن گروه‌های عاملی مختلف و قابلیت‌های هیدراتاسیون بالا، می‌توانند با کازئین‌های شیر برهمکنش داده و با پر کردن فضاهای خالی در شبکه کازئین، استحکام و پیوستگی آن را افزایش دهند. این

جدول ۲- نتایج آزمون‌های خصوصیات بافتی نمونه‌های پنیر کوارک در روز شصتم دوره نگهداری

Table 2. Results of textural properties of quark cheese samples on the 60th day of storage

قابلیت جویدن (g.mm)	حالت صمغی (g)	فنریت (mm)	پیوستگی	سفتی (N)	تیمارها
Chewiness (g.mm)	Gumminess (g)	Springiness (mm)	Cohesiveness	Hardness (N)	Treatments
0.128 ± 0.01 ^{Ca}	0.21 ± 0.01 ^{Ca}	0.61 ± 0.02 ^{Ca}	0.42 ± 0.02 ^{Ca}	0.45 ± 0.08 ^{Ca}	Control
0.194 ± 0.03 ^{Ba}	0.29 ± 0.01 ^{Ba}	0.67 ± 0.05 ^{Ba}	0.49 ± 0.05 ^{Ba}	0.6 ± 0.09 ^{Ba}	T ₀ L _{2/5}
0.296 ± 0.03 ^{Aa}	0.39 ± 0.03 ^{Aa}	0.76 ± 0.03 ^{Aa}	0.55 ± 0.03 ^{Aa}	0.71 ± 0.01 ^{Aa}	T ₀ L ₅
0.091 ± 0.06 ^{Ca}	0.16 ± 0.05 ^{Ca}	0.57 ± 0.07 ^{Ca}	0.39 ± 0.05 ^{Ca}	0.4 ± 0.07 ^{Ca}	T ₁ L ₀
0.165 ± 0.03 ^{Ba}	0.25 ± 0.02 ^{Ba}	0.66 ± 0.04 ^{Ba}	0.46 ± 0.05 ^{Ba}	0.55 ± 0.08 ^{Ba}	T ₁ L _{2/5}
0.24 ± 0.04 ^{Aa}	0.33 ± 0.01 ^{Aa}	0.73 ± 0.06 ^{Aa}	0.52 ± 0.02 ^{Aa}	0.65 ± 0.06 ^{Aa}	T ₁ L ₅
0.06 ± 0.005 ^{Ca}	0.12 ± 0.02 ^{Ca}	0.5 ± 0.07 ^{Ca}	0.33 ± 0.04 ^{Ca}	0.34 ± 0.07 ^{Ca}	T ₂ L ₀
0.136 ± 0.05 ^{Ba}	0.22 ± 0.05 ^{Ba}	0.63 ± 0.05 ^{Ba}	0.43 ± 0.04 ^{Ba}	0.5 ± 0.02 ^{Ba}	T ₂ L _{2/5}
0.203 ± 0.04 ^{Aa}	0.29 ± 0.03 ^{Aa}	0.7 ± 0.06 ^{Aa}	0.47 ± 0.02 ^{Aa}	0.63 ± 0.09 ^{Aa}	T ₂ L ₅

T معرف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با غلظت (۰، ۱ و ۲) و L معرف کنسانتره پروتئینی عدس با غلظت (۰، ۲.۵ و ۵)

میانگین‌ها و حروف بزرگ (A-C) تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها (غلظت‌های مختلف کنسانتره عدس) را در هر غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نشان می‌دهند، در حالی که حروف کوچک (a-c) تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) بین تیمارها (غلظت‌های مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز) را در هر غلظت کنسانتره پروتئین عدس نشان می‌دهند

T represents transglutaminase enzyme with concentrations (0, 1 and 2 U/g) and L represents lentil protein concentrate with concentrations (0, 2.5 and 5 g/l)

Means and uppercase letters (A-C) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments (various levels of lentil protein concentrate) at each concentration of transglutaminase enzyme, while lowercase letters (a-c) indicate significant differences ($p < 0.05$) between treatments (various levels of transglutaminase enzyme) at each concentration of lentil protein concentrate

سویا گزارش کردند (۲۲). اشکولنیسکا و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی خصوصیات بافتی پنیر کوارک افزایش خاصیت فنریت را در نمونه‌های پنیر با افزایش

میترا و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی تأثیر کنسانتره پروتئینی سویا بر خواص بافتی ماست افزایش شاخص سفتی را با افزایش غلظت کنسانتره پروتئینی

ماده خشک در نمونه‌ها گزارش کردند (۲۳). سینگ و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی خصوصیات رئولوژیکی و بافتی پنیر کوارک افزایش معنی‌دار سختی، فنریته و قابلیت جویدن را در نمونه‌های پنیر با افزایش درصد پروتئین گزارش کردند (۲۴).

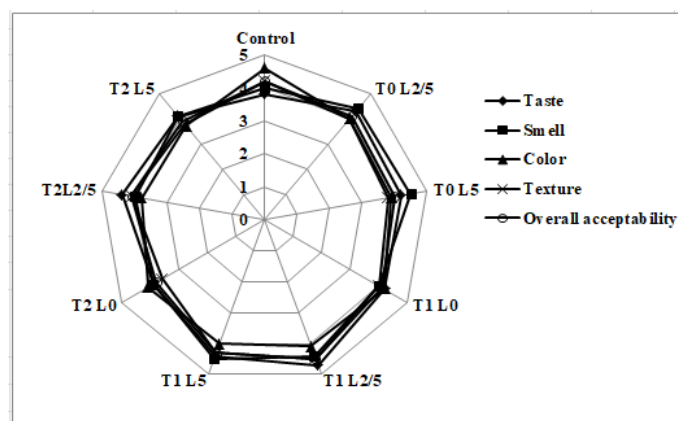
ارزیابی خواص حسی: شکل (۵) نتایج ارزیابی حسی نمونه‌های پنیر پروبیوتیک را که توسط ارزیاب‌ها در روز شصتم نگهداری بررسی شده بود، با تمرکز بر ویژگی‌هایی از جمله طعم، عطر، رنگ، بافت و پذیرش کلی نشان می‌دهد. نتایج حاصل مشخص کرد تاثیر کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر شاخص طعم نمونه‌های پنیر معنی‌دار بود ($p < 0.05$). میانگین امتیاز طعم در تیمار حاوی ۱ U/g ۲/۵ کنسانتره پروتئینی عدس و ۱ U/g آنزیم برابر با 4.5 ± 0.4 بود که نسبت به نمونه شاهد (3.9 ± 0.2) افزایش قابل توجهی نشان داد. افزایش غلظت کنسانتره به سطوح بالاتر (۵ g/l) تغییر معنی‌داری ایجاد نکرد ($p > 0.05$). معنادار بودن تاثیر هر دو فاکتور کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر امتیاز طعم، حاکی از نقش کلیدی این ترکیبات در ایجاد پروفایل طعمی متعادل و مطلوب است. بهبود طعم در نمونه بهینه (حاوی ۱ U/g ۲/۵ کنسانتره پروتئینی عدس و ۱ U/g آنزیم) در مقایسه با نمونه شاهد، می‌تواند به دلایل مختلفی باشد. به نظر می‌رسد پروتئین‌های عدس به عنوان یک عامل حمل‌کننده عطر و طعم عمل کنند و با برهمکنش داشتن با ترکیبات ایجادکننده طعم، قدرت یا ماندگاری آن‌ها را تنظیم کنند. همچنین، پروتئین‌های گیاهی با تاثیرگذاری بر فرآیند تخمیر و سوخت و ساز باکتری‌ها، ترکیبات اسیدی و معطری را که توسط باکتری‌های آغازگر و پروبیوتیک تولید می‌شوند، تغییر می‌دهند. از طرفی، آنزیم ترانس گلوتامیناز با ایجاد یک شبکه پروتئینی یکدست‌تر، ممکن است رهایش طعم را در دهان

کنترل کرده و آن را بهبود بخشد (۱۶، ۱۹). در ارزیابی شاخص بو، رنگ و بافت تاثیر کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر شاخص مذکور در نمونه‌های پنیر معنی‌دار بود ($p < 0.05$). افزایش غلظت کنسانتره پروتئین عدس تا ۲/۵ g/l و آنزیم تا ۱ U/g سبب بهبود امتیاز شاخص‌های مذکور گردید ($p < 0.05$) اما افزایش غلظت به سطوح بالاتر تاثیر مثبت بر شاخص‌های مذکور نداشت ($p > 0.05$). تاثیر مثبت و معنادار کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر شاخص‌های بو (عطر)، رنگ و بافت در محدوده بهینه، مجدداً بر نقش ساختاری و عملکردی این مواد تاکید دارد. بهبود بافت، که با نتایج آنالیز دستگاهی TPA همسو است، مستقیماً بر احساس دهانی و درک مثبت مصرف‌کننده تاثیر می‌گذارد. رنگ بهبودیافته احتمالاً ناشی از رنگدانه‌های طبیعی موجود در عدس و همچنین تاثیر این ترکیبات بر ریزساختار ماتریس پنیر و پراکندگی نور است. بهبود عطر نیز می‌تواند مرتبط با تغییرات در متابولیسم میکروبی و تشکیل ترکیبات آروماتیک مطلوب تحت تاثیر بستر پروتئینی غنی شده باشد (۱۶، ۲۱).

بالاترین امتیاز پذیرش کلی برای نمونه حاوی ۲/۵ g/l کنسانتره پروتئین عدس و ۱ U/g آنزیم ترانس گلوتامیناز (4.5 ± 0.3) حاصل شد که نشان‌دهنده اثر سینرژیستیک بین کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز در ایجاد یک محصول متعادل است. به نظر می‌رسد کنسانتره پروتئین عدس در این غلظت، بستر تغذیه‌ای و ساختاری مناسبی را فراهم می‌کند و آنزیم ترانس گلوتامیناز نیز این ساختار را تثبیت و یکنواخت می‌نماید. حبیبی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی کنسانتره پروتئینی سویا و پودر جوانه جودوسر بر پنیر فتا تاثیر غیرمعنی‌دار کنسانتره پروتئینی سویا را بر امتیاز پذیرش کلی گزارش کردند (۲۰). یوشکالو و همکاران (۲۰۲۵) نیز در بررسی

همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تولید ماست کم چرب عملگر غنی شده با کنسانتره پروتئینی سویا کاهش امتیاز پذیرش کلی را در غلظت‌های بالای کنسانتره پروتئینی سویا گزارش کردند (۱۷).

خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بافتی نمونه‌های پنیر لبنی حاوی پروتئین‌های گیاهی امتیاز مطلوب رنگ و طعم را در نمونه‌های پنیر لبنی حاوی کنسانتره پروتئینی سویا گزارش کردند (۱۹). مشابها کریمی و



شکل ۵- تأثیر کنسانتره پروتئینی عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز بر خصوصیات حسی پنیر کوآرک پروبیوتیک در روز شصتم نگهداری

Figure 5. The effect of lentil protein concentrate and transglutaminase enzyme on sensory properties of probiotic quark cheese on 60th day of storage

* T represents transglutaminase enzyme with concentrations (0, 1 and 2 U/g) and L represents lentil protein concentrate with concentrations (0, 2.5 and 5 g/l)

کنسانتره پروتئین عدس، همراه با ۱ U/g ترانس گلوتامیناز ویژگی‌های حسی را بهبود بخشید، اما بکارگیری سطوح بالاتر تأثیر مثبتی بر خصوصیات حسی نداشت. در مجموع، ترکیب مناسب کنسانتره پروتئین عدس و ترانس گلوتامیناز ضمن بهبود خاصیت پروبیوتیکی محصول می‌تواند یا بهبود خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی محصول، مقبولیت محصول را افزایش دهد و از استفاده آنها در آنالوگ‌های لبنی غنی‌شده با پروتئین‌های گیاهی حمایت کند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه پنیر کوآرک پروبیوتیک حاوی کنسانتره پروتئین عدس و ترانس گلوتامیناز تولید شد و استفاده از کنسانتره پروتئینی عدس تأثیر مثبت بر افزایش بازدهی تولید پنیر داشت. همچنین، با افزایش غلظت کنسانتره پروتئین عدس و آنزیم ترانس گلوتامیناز، زنده‌مانی لاکتوباسیلوس پلاتاروم افزایش یافت. اگرچه تأثیر کنسانتره پروتئینی عدس بر بهبود خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی پنیر مطلوب بود، آنزیم ترانس گلوتامیناز تأثیر محدود بر ویژگی‌های مذکور داشت. به‌طور خاص، استفاده از ۲/۵ g/l

منابع

1. Song, X., Zheng, Y., Zhou, X., & Deng, Y. (2022). Quark cheese processed by dense phase carbon dioxide: Shelf-life evaluation and physiochemical, rheological, microstructural and volatile properties assessment. *Foods* (Basel, Switzerland), 11(15), 2340.
2. Araujo, H. C. S., De Jesus, M. S., & Sandes, R. D. D., Leite Neta, M. T. S., Narain, N. (2024). Functional Cheeses: Updates on Probiotic Preservation Methods. *Fermentation*, 10 (1), 8.
3. Shen, Y., Tang, X., & Li, Y. (2021). Drying methods affect physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Food Chemistry*, 339, 127823.

4. Seyed-Moslemi, S. A., Hesari, J., Peighambaroust, S. H., & Peighambaroust, 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.
5. Zhang, D., Ling, X., Jiang, K., Zhao, X., & Gan, Y. (2024). Development of low-fat Mozzarella cheeses enriched with soy or pea protein hydrolysates: Composition, texture and functional properties during ageing. *International Journal of Dairy Technology*, 77 (1):165–82.
6. Tang, Q., Roos, Y. H., & Miao, S. (2023). Effect of microbial transglutaminase on functional, rheological, and structural properties of lentil protein-casein binary gels. *Food Hydrocolloids*, 143, 108838.
7. Hu, G-G., Liu, J., Wang, Y-H., Yang, Z-N., & Shao, H-B. (2022). Applications of plant protein in the dairy industry. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11, 1067.
8. Ko, T. L., Soethan, S., & Oo, Z. Z. (2017). Isolation of protein from defatted lentil flour. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(6), 238–244.
9. Danesh, E., Goudarzi, M., & 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.
10. Rashidi, H. (2015). Chemical, sensory and physical characteristics of low-fat white cheese, produced by standardized milk with milk protein concentrate. *Journal of Food Research*, 25(4), 517–525.
11. Hosseini, M., & Sedaghati M. (2023). Production and Characterization of Milk Dessert Supplemented with Date Seed Powder, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(9), 2908–2915.
12. Alehosseini, E., McSweeney, P. L. H., & Miao, S. (2025). Formulation factors influencing the production of dairy-free cheese alternatives. *Journal of Future Foods*. In Press
13. Boeck, T., Sahin, A. W., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2021). Nutritional properties and health aspects of pulses and their use in plant-based yogurt alternatives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3858–3880.
14. Boeck, T., Zannini, E., Sahin, A. W., Bez, J., & Arendt, E. K. (2021). Nutritional and rheological features of lentil protein isolate for yoghurt-like application. *Foods*, 10(8), 1692.
15. Habibi, S. A., & Jooyandeh, H. (2024). Investigation on the Effect of Persian Gum and Transglutaminase Enzyme on Some Physicochemical and Microstructural Characteristics of Low-Fat Ultrafiltrated Iranian White Cheese. *Food Science and Nutrition*, 12(11), 9810–9821.
16. Mozaffarpour Nuri, A., Nateghi, L., & Meimandipour, A. (2018). Evaluation of the effect of transglutaminase enzyme and beta-glucan on survival of *Lactobacillus acidophilus* and physicochemical and sensory properties of probiotic low-fat yogurt. *Food Science and Technology*, 15(10): 57–69.
17. Karimi, L., Manafi, M., & Yekan D. (2020). Production of Functional Low-Fat Yogurt Fortified with Soy Protein Isolate. *The Iranian journal of Biosystems Engineering*. 52(4), 585–598.
18. Mansour, H. E., Allah, W. F., Nehela, Y., Hafez, Y., Abdelaal, K., Shehata, W. F., Alkhateeb, O. A., Alasfour, A. A., Ghazzawy, H. S., & Bakr, A. (2025). Use of Soybean [Glycin max (L.) Merr.] Isolate Protein to Produce Imitation Processed Cheese. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(5), 5769–5780.
19. Ushkalova, A. A., Zhao, Y., Gu, Y., Wang, C., Zhang, T. (2025). Partially substituting cheese base with plant proteins to produce processed cheese: Textural, rheological, microstructural and sensory properties. *Journal of Dairy Science*, 108(5), 4638–4658.
20. Habibi, R., Khosrowshahi, A., Roufegarinejad, L., Zomorodi, S. H., & Asefi, N. (2022). The effect of soy protein isolate and oat germ powder on some qualitative and textural characteristics of whey-less feta cheese. *Food Engineering Research*, 21(73), 143–159.
21. Pham, T. H., Pham, K. C., Huynh, A. T., Thi, N. U. L., & Trinh, K. S. (2021). Effect of transglutaminase on quality properties of fresh cheese. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 8(4), 44–53
22. Mitra, P., Nepal, K., & Tavade, P. (2022). Effect of whey and soy proteins fortification on the textural and rheological properties of value-added yogurts. *Applied Food Research*, 2(2), 100195.
23. Szkolnicka, K., Dmytrów, I., & Mituniewicz-Malek, A. (2021). The characteristics of quark cheese made from buttermilk during refrigerated storage. *Foods*, 10 (8), 1783.
24. Singh, S., Chauhan, A. K., Aparna, V. P., Prakash, R., Maiti, P., Ranjan, R., & Joshi, P. (2023). “Quarg Cheese: The Impact of Fat Content Change on Its Microstructure, Characterization, Rheology, and Textural Properties.” *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 11(3): 1061–1073.