



تولید ماست فراسودمند غنی شده حاوی عصاره جو دوسر با کمک تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز میکروبی

پروین کیان آرا، حسین جوینده، محمد نوشاد، محمد حجتی، محمدامین مهرنیا

۱- دانشجوی 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.

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان.

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۲

کلمات کلیدی:

آنزیم ترانس گلوتامیناز،

سین بیوتیک،

عصاره جو دوسر،

ماست فراسودمند.

DOI: 10.48311/fsct.2025.84051.0.

* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnruk.ac.ir

با افزایش آگاهی عمومی نسبت به فواید ماست کم چرب در سال های اخیر، میزان تولید و مصرف این محصول رشد قابل توجهی داشته است. کاهش درصد چربی در ماست های کم چرب می تواند بر ویژگی های محصول تأثیرگذار باشد، بنابراین یافتن فرمولاسیونی که بتواند ضمن حفظ ویژگی های حسی، اثرات کاهش چربی را جبران کند، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش، تأثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی در دو سطح (۰ و ۰/۰۲ درصد وزنی-حجمی) و جایگزینی عصاره جو دوسر با شیر در چهار سطح (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی-حجمی) بر خواص فیزیکی شیمیایی و پذیرش کلی ماست سین بیوتیک طی دوره نگهداری بررسی گردید. نتایج نشان داد که استفاده از این آنزیم باعث افزایش pH و کاهش میزان اسیدیته و آب اندازی ماست به شکل معنی دار ($p < 0.01$) نسبت به نمونه شاهد شد اما تأثیری بر مقدار ماده خشک نمونه ها نداشت. همچنین با افزایش درصد عصاره جو دوسر، میزان اسیدیته و ماده خشک ماست افزایش و pH نمونه ها کاهش معنی دار ($p < 0.01$) یافت. به علاوه، با گذشت زمان نگهداری، pH و آب اندازی کاهش و اسیدیته افزایش قابل توجهی یافت ($p < 0.001$) در حالی که همانند آنزیم متغیر زمان تأثیر معنی داری بر ماده خشک ماست نداشت. نتایج حسی نشان داد که برخلاف آنزیم ترانس گلوتامیناز، افزایش درصد عصاره جو دوسر سبب کاهش امتیاز پذیرش کلی محصول شد، اما اختلاف معنی داری از این نظر میان نمونه شاهد با نمونه های ماست حاوی ۱۰ و ۲۰ درصد عصاره جو مشاهده نشد. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق، به منظور تولید ماست فراسودمند تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز (۰/۰۲ درصد) و استفاده از ۲۰ درصد عصاره جو دوسر در فرمولاسیون محصول پیشنهاد می شود.

۱-مقدمه

در حال حاضر یکی از دغدغه‌های مهم تولید مواد غذایی، جلوگیری از بیماری‌های مربوط به تغذیه، بهبود عملکرد ذهنی و جسمانی مصرف‌کنندگان می‌باشد [۱]. لذا متخصصان صنایع غذایی در پی طراحی و تولید محصولاتی هستند که علاوه بر خصوصیات تغذیه‌ای مطلوب، دارای خواص سلامتی بخش خاص نیز باشند. از جمله این محصولات می‌توان به فرآورده‌های غذایی فراسودمند اشاره کرد [۲]. با توجه به پتانسیل بالای بازار برای غذاهایی که می‌توانند سلامت و رفاه مصرف‌کنندگان را بهبود ببخشند، علاقه به توسعه غذاهای فراسودمند رونق یافته است. از طرف دیگر، یک رژیم غذایی گیاهی برای پایداری سیستم غذایی جهانی، به ویژه با توجه به رشد جمعیت جهانی و افزایش تقاضا برای گوشت و لبنیات، بسیار مهم شناخته شده است [۳]. کاهش مصرف گوشت و لبنیات برای بهبود محیط زیست و آب و هوا، حفاظت از منابع زمین و آب، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود سلامت انسان ضروری است [۴]. مصرف‌کنندگان به طور فزاینده‌ای از جنبه‌های تغذیه‌ای و سلامتی غذاهای مصرفی خود آگاه هستند و این امر منجر به ظهور جایگزین‌های مختلف گوشت و شیر شده است که عادات غذایی و ترجیحات مذهبی متنوعی از جمله عدم تحمل لاکتوز و گیاهخواری را نیز برآورده می‌کنند [۵] و [۶]. برای تهیه ماست می‌توان از منابع مختلف گیاهی مانند حبوبات، غلات، آجیل و میوه‌ها استفاده کرد [۷]. علیرغم شباهت ماست شبه لبنی از نظر طعم، بافت و مشخصات تغذیه‌ای، این محصول اغلب در دستیابی به ویژگی‌های حسی مطلوب با چالش‌هایی روبرو است. طعم نامطلوب (مثلاً ترش، شیرین، تلخ) و ویژگی‌های بافتی (مثلاً آبکی، رقیق، جداشونده) از جمله این مشکلات هستند [۸ و ۹].

جو دوسر به عنوان بخشی از رژیم غذایی سلامت بخش بوده و محصولات جدید حاصل از جو دوسر، به عنوان مواد غذایی فراسودمند وارد بازار شده اند [۱۰]. در مقایسه با سایر غلات، یولاف دارای مقادیر بالای مواد معدنی، پروتئین و

آمینواسید ضروری لیزین می‌باشد. همچنین جو دوسر دارای مقادیر بالای اسیدهای چرب پالمیتیک، اولئیک و لینولئیک است. جو دوسر به دلیل دارا بودن ترکیبات فعال عملگرا به نام بتا گلوکان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بتاگلوکان فیبری محلول است که توان افزایش ویسکوزیته را داشته و می‌تواند زمان تخلیه معده را افزایش دهد. با افزایش مدت زمان عبور غذا از معده و روده باعث کاهش سطح گلوکز خون می‌شود [۱۱]. این ترکیب همچنین به دلیل اثرات کاهندگی کلسترول خون شناخته شده است [۱۲]. بتاگلوکان همچنین دارای خاصیت پری‌بیوتیکی بوده و به تغذیه باکتری‌های مفید روده کمک کرده و سلامت دستگاه گوارش را بهبود می‌بخشد. با توجه به قدرت تحریک‌کنندگی پری‌بیوتیک‌ها بر رشد باکتری‌های پروبیوتیک در روده و کمک به ماندگاری بهتر آنها در طی زمان نگهداری محصول، استفاده از آنها در تولید محصولات پروبیوتیک لازم و ضروری به نظر می‌رسد [۱۳].

به سبب افزایش آگاهی عمومی از فواید سلامتی بخش ماست طی دهه‌های اخیر، تولید و مصرف آن به طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است. این در حالی است که ۷۰ درصد چربی شیر از نوع اشباع می‌باشد که می‌تواند میزان کلسترول خون و به دنبال آن خطر بروز بیماری‌های قلبی - عروقی را افزایش دهد. به همین سبب تلاش‌های زیادی جهت تولید ماست کم چرب، به گونه‌ای که خواص آن با ماست معمولی تفاوت معنی‌داری نداشته باشد، در حال انجام است. در ماست‌های کم چرب به دلیل کاهش غلظت چربی، ویژگی‌های بافتی ماست کاهش می‌یابد، بنابراین یافتن ترکیبی که بتواند با حفظ ویژگی‌های ارگانولپتیک، اثرات کاهش چربی را جبران کند، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۴].

خواص عملکردی پروتئین‌ها نظیر ژل‌کنندگی، ظرفیت نگهداری آب، ویسکوزیته، پایداری حرارتی، امولسیون‌کنندگی و کف‌کنندگی تحت تأثیر ارتباط بین ساختمان و اجزای پروتئین‌ها است [۱۵]. در این راستا، پیوندهای عرضی پروتئین - پروتئین می‌توانند نقش بسیار

مهمی در بهبود و اصلاح ویژگی‌های ساختاری و عملکردی پروتئین‌های مواد غذایی داشته باشند [۱۶]. در سال‌های اخیر توانایی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در بهبود ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها در موارد گوناگون به اثبات رسیده است [۱۵-۱۷]. کاربرد TG در محصولات لبنی امکان افزایش نیروی ژل، ویسکوزیته سطحی، ظرفیت نگهداری آب را فراهم می‌کند. میزان اتصالات عرضی و قوام محصولات لبنی منجمه ماست به میزان آنزیم استفاده شده و قدرت آن بستگی دارد [۱۸].

تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه تولید ماست حاوی ترکیبات یا عصاره‌های گیاهی به همراه تیمار آنزیمی ترانس-گلوتامیناز انجام پذیرفته است. بولگا و بویوکجوموس در مطالعه‌ای تأثیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی ژر را نمونه-های شبه ماست تهیه شده از شیر بادام‌زمینی حاوی دو کشت مختلف آغازگر (قادر به تولید پلی‌ساکارید خارجی یا EPS^۱ و استارتر فاقد توانایی تولید EPS) بررسی کردند [۱۹]. در این تحقیق از کشت آغازگر EPS برای بهبود قوام و ویسکوزیته نمونه‌های ماست آنالوگ استفاده شد. شش آنالوگ ماست تولید شد، سه مورد با کشت‌های آغازگر YC350 و سه مورد با کشت‌های آغازگر YoFlex. تجزیه و تحلیل SDS-PAGE نشان داد که شدت باندهای پروتئینی با افزایش غلظت آنزیم کاهش یافت. ریزساختار آنالوگ‌های ماست ساخته شده با کشت آغازگر EPS، ماتریکس کمتر متخلخل، سفت‌تر و ساختار خامه‌ای‌تری داشت. در تجزیه و تحلیل‌های حسی، آنالوگ‌های ماست تولید شده با کشت‌های غیر EPS، امتیاز بالاتری، به ویژه در ظاهر، بو و قوام، دریافت کردند. هیچ تغییر قابل توجهی در ظرفیت نگهداری آب یا آب‌اندازی نمونه‌های ماست در طول نگهداری رخ نداد. ابراهیم و همکاران (۲۰۱۷) از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز استخراج شده از رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) برای ایجاد پیوند عرضی در ماست حاوی ایزوله پروتئین آب

پنیر (WPI) استفاده کردند و توانایی آن را در القای ژل بررسی نمودند [۲۰]. نتایج تحقیق نشان داد که خواص شیمیایی، رئولوژیکی، بافتی و حسی ماست تیمار شده با آنزیم بهتر از ماست شاهد بود. دارنی و همکاران نیز از پروتئین‌های بادام، نارگیل و بادام هندی به همراه اصلاح‌کننده‌های بافت مانند آگار و ترانس‌گلوتامیناز میکروبی برای تولید جایگزین‌های ماست گیاهی استفاده کردند [۲۱]. در این پژوهش ویژگی‌های محصول از نظر خواص فیزیکوشیمیایی و همچنین رفتار رئولوژیکی، بافت و ویژگی‌های حسی بررسی شدند. نتایج نشان داد که ویسکوزیته ظاهری و سفتی ژل تحت تأثیر پروتئین‌های گیاهی اعمال شده قرار گرفتند و اصلاح‌کننده‌های بافت نیز بسته به آن‌ها مؤثر بودند. اگرچه استفاده از آگار منجر به ویسکوزیته ظاهری بالاتر در تمامی نمونه‌های حاوی پروتئین‌های گیاهی شد، ترانس‌گلوتامیناز میکروبی منجر به سفتی ژل بالاتر در مورد ماست‌های بادام و نارگیل شد، به طوری که ارزیابان حسی امتیاز بالاتری از نظر بو و طعم به این نمونه‌ها دادند.

با توجه به تمایل مصرف‌کنندگان به استفاده از فرآورده‌های غذایی کم‌چرب، با ویژگی‌هایی مشابه محصولات پرچرب، تولیدکنندگان در جست‌وجوی راهکارهایی برای بهبود کیفیت کلی این محصولات هستند. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پذیرش کلی ماست پروبیوتیک حاوی عصاره جو دوسر، در طول ۲۱ روز دوره نگهداری در یخچال انجام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ مواد مورد استفاده

جهت افزایش منابع غذایی حاوی ترکیبات پری‌بیوتیک و افزایش ماده خشک ماست، از آرد جو دوسر کامل، محصول

1-exopolysaccharide

مقادیر مناسب زانتان و آنزیم ترانس گلوتامیناز از طریق آزمون‌های مقدماتی تعیین شدند. در آزمون‌های مقدماتی، با توجه به تحقیقات انجام شده در زمینه مقادیر پیشنهادی زانتان و آنزیم ترانس گلوتامیناز در تولید ماست، محدوده مناسبی از این دو ماده (۰/۰۰۵ تا ۰/۰۲ درصد زانتان و ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز) انتخاب شد. پس از تولید نمونه‌های اولیه و براساس امتیاز حسی، بهترین سطح مناسب (۰/۰۱ زانتان و ۰/۰۲ درصد آنزیم) انتخاب شد.

۲-۳ آزمون‌ها

۲-۳-۱ اندازه‌گیری pH

مقدار pH نمونه‌ها با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال، مدل Metrohm-780 ساخت کشور سوئیس، مطابق مطابق دستورالعمل AOAC اندازه‌گیری شد [۲۳].

۲-۲-۳ اندازه‌گیری اسیدیته

برای اندازه‌گیری اسیدیته، از روش تیتراسیون با محلول سود، مطابق دستورالعمل AOAC استفاده شد. در این روش، نمونه و آب مقطر به نسبت ۱ به ۱ درون یک بشر شیشه‌ای توزین شده، سپس ۲ تا ۳ قطره محلول فنل فتالین به عنوان شناساگر اضافه شد. در ادامه، مخلوط نهایی با محلول سود یک‌نهم نرمال تیتراژ شد تا رنگ صورتی کم‌رنگ ظاهر گردد. حجم سود مصرف‌شده ثبت شد و درصد اسیدیته بر اساس مقدار اسید لاکتیک محاسبه گردید [۲۳].

۲-۳-۳ اندازه‌گیری ماده خشک

مقدار ماده خشک کل با استفاده از روش آون‌گذاری در دمای ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد و مطابق دستورالعمل AOAC از طریق فرمول زیر محاسبه گردید [۲۳].

درصد کل ماده خشک = (نمونه خشک (گرم) / نمونه مرطوب (گرم)) × ۱۰۰

شرکت آرینا ۱۱۱ مازندران بهره گرفته شد. برای تهیه عصاره جو، آرد جو و آب با نسبت ۵:۱ با همزن مخلوط شده و سپس توسط پارچه صافی عصاره آن استخراج گردید. در این پژوهش، از آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (دارای فعالیت آنزیمی ۱۰۰ واحد به ازای هر گرم پودر)، تولید شرکت Ingredients BDF Natural اسپانیا استفاده شد. پودر استارتر یا آغازگر ماست از نوع DVS (Chr Hansen)، ABY-10، ساخت دانمارک)، حاوی باکتری‌های آغازگر ماست (لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس و استرپتوکوکوس ترموفیلوس) و باکتری‌های پروبیوتیک (لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس LA5 و بیفیدوباکتریوم بیفیدوم BB-12) از نمایندگی کریستین هانسن دانمارک در ایران خریداری شد. نمونه‌های ماست با استفاده از شیر کم‌چرب (۱/۵ درصد چربی) تازه تهیه شدند.

۲-۲ روش تهیه نمونه‌های ماست پروبیوتیک

برای تهیه نمونه‌های مورد آزمایش، از شیر پاستوریزه کم‌چرب با ۱/۵ درصد چربی و ۸ درصد ماده خشک استفاده شد. نمونه‌های ماست بر اساس روش یدملت و همکاران با اعمال تغییرات جزئی تهیه گردید [۲۲]. در این فرآیند، ابتدا شیر خشک به میزان ۲ درصد به همراه صمغ زانتان به مقدار ۰/۰۱ درصد به شیر خام اضافه شد، سپس عملیات حرارتی در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت. عصاره جو نیز به صورت جداگانه تحت شرایط مشابه حرارت داده شد و در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد حجمی به شیر افزوده گردید. پس از آن، مخلوط تا دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد خنک شد. پس از افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز در سطح ۰/۰۲ درصد وزنی- حجمی، سوپه میکروبی پروبیوتیک و آغازگر نیز به میزان ۰/۰۱ درصد (W/V) اضافه شد. سپس ماست‌ها در ظروف ۱۰۰ گرمی بسته‌بندی شده و پس از گرمخانه‌گذاری به مدت تقریباً سه ساعت، در یخچال با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و به مدت یک شب نگهداری شدند. در نهایت، نمونه‌های ماست در روزهای ۱، ۱۱ و ۲۱ مورد ارزیابی قرار گرفتند. شایان ذکر است که

۴-۳-۲ اندازه‌گیری آب‌اندازی

میزان آب‌اندازی نمونه‌ها مطابق روش فارن‌ورث و همکاران (۲۰۰۶) صورت پذیرفت [۲۴]. در این روش حدود ۳۱ گرم از نمونه درون لوله فالكون ۵۱ میلی‌لیتری توزین شد. سپس لوله‌ها در سانتریفوژ با دور ۲۵۱۱ rpm به مدت ۱۱ دقیقه قرار داده شدند. پس از این مرحله، وزن سرم جدا شده در بالای لوله آزمایش اندازه‌گیری شد. میزان آب‌اندازی نمونه‌ها از طریق رابطه زیر محاسبه گردید.

درصد آب‌اندازی = (وزن سرم جدا شده از نمونه (گرم) / وزن اولیه نمونه (گرم)) $\times 100$

۵-۳-۲ ارزیابی پذیرش کلی نمونه‌ها

در این قسمت پذیرش کلی نمونه‌های ماست مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها از طریق تست هدونیک ۹ نقطه‌ای با هم مقایسه شدند. نمونه‌ها به شکل تصادفی به ارزیاب‌ها ارائه شدند. قبل از ارزیابی، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه از یخچال خارج و در دمای محیط نگهداری شدند تا دمای تمامی نمونه‌ها در حین ارزیابی یکسان باقی بماند [۲۲].

۴-۲ آنالیز داده‌ها

در این تحقیق با توجه به دو متغیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (در دو سطح ۰ و ۰/۰۲ درصد) و جایگزینی عصاره جو دوسر با شیر (در چهار سطح ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد)، تعداد ۸ تیمار تولید گردید. کلیه تیمارها در ۳ تکرار تولید شدند و ویژگی‌های مورد اشاره در ۳ زمان نگهداری (۱، ۱۱ و ۲۱ روز) بررسی شدند. بنابراین در این پژوهش تعداد ۷۲ نمونه تولید شد. نتایج میانگین داده‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با کمک نرم افزار SPSS تجزیه و تحلیل شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۱-۳ خواص فیزیکوشیمیایی ماست

۱-۱-۳ pH و اسیدیته ماست

با توجه به نتایج تجزیه واریانس در جدول ۱، هر یک از متغیرهای آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، عصاره جو دوسر و زمان نگهداری تأثیر معنی‌داری بر pH و اسیدیته ماست داشتند ($p < 0.01$) اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد. در شکل ۱، تأثیر فاکتورهای مختلف بر pH ماست نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود با کاربرد آنزیم، میزان pH ماست به‌طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. در شکل ۲ نیز تأثیر هر سه فاکتور عصاره جو دوسر، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و زمان بر اسیدیته ماست نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، با کاربرد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، میزان اسیدیته ماست به‌طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد کاهش داشته است (شکل ۲-۱). در پژوهشی آپرودو و همکاران (۲۰۱۱) نیز مقادیر بالاتری را برای pH نمونه‌های تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز گزارش کردند [۲۵]. بر اساس گزارش این محققان، زمان تخمیر در نمونه‌های حاوی آنزیم، جهت رسیدن به pH نهایی، بالاتر بود و درواقع این زمان با غلظت آنزیم رابطه مستقیم داشت. اسیدیته نمونه‌ها نیز مانند pH تحت تأثیر قرار گرفت. محمود و سبوا (۲۰۱۲) گزارش کردند که اثر تیمار آنزیمی بر pH و اسیدیته، با غلظت آنزیم افزوده شده متناسب می‌باشد [۲۶]. به طوری که بالاترین مقدار pH مربوط به نمونه‌های حاوی بالاترین غلظت آنزیم بود. این پژوهشگران کاهش تولید اسید در نتیجه تیمار آنزیمی را به اتصالات عرضی ایجاد شده توسط ترانس‌گلوتامیناز نسبت دادند. همچنین بر اساس نتایج آنها، کاهش معنی‌داری در pH نمونه‌ها در طی نگهداری مشاهده شد. درهرحال، نتایج تحقیقات وروبولسکا و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز اثری بر میزان pH محصول تولیدی ندارد و هیچ گونه تغییر معنی‌داری در میزان تولید اسید ایجاد نمی‌کند [۲۷]. جوینده و همکاران (۲۰۲۲) افزایش pH ماست چکیده تهیه شده از مخلوط شیر گاو و

گاو میش در اثر کاربرد آنزیم ترانس گلوتامیناز را گزارش کردند [۲۸].

Table 1 Analysis of variance for the effect of Oat extract, Transglutaminase enzyme and time on the physicochemical properties and acceptability of yogurt samples during storage time

Variable sources	Mean square					
	df	pH	Acidity	Dry matter	Syneresis	Acceptability
Oat Extract	3	0.031***	0.001**	1.944***	20.08***	0.565*
Enzyme	1	0.052***	0.005***	0.004 ^{ns}	43.49***	0.633*
Time	2	0.190***	0.055***	0.038 ^{ns}	112.21***	5.695***
Enzyme*Oat Extract	3	0.001 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.511 ^{ns}	0.004 ^{ns}
Time*Oat Extract	6	0.001 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.011 ^{ns}	0.897 ^{ns}	0.009 ^{ns}
Time*Enzyme	2	0.002 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.470 ^{ns}	0.024 ^{ns}
Time*Enzyme* Oat Extract	6	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.949 ^{ns}	0.003 ^{ns}
Error	24	0.001	0.000	0.026	1.0678	0.127
CV (%)	-	0.300	0.830	0.630	0.800	5.080

ns, *and ** and *** means non-significant, and significant at 5%, 1% and 0.1%.

گزارش کردند که با افزایش عصاره جو دوسر در بستنی، میزان اسیدیته به طور معنی داری افزایش یافته است [۳۱]. همچنین آگاهتانی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که افزودن عصاره جو دوسر به ماست پروبیوتیک موجب افزایش تولید اسید لاکتیک، کاهش زمان تخمیر و افزایش میزان تولید اسید می شود [۳۲]. برخلاف این نتایج، آنلی و همکاران (۲۰۲۳) اثر عصاره جو دوسر به عنوان جایگزین چربی در ماست قالبی کم چرب را مورد بررسی قرار دادند نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از عصاره جو دوسر به عنوان جایگزین چربی اثر معنی داری بر مقدار pH ندارد که با نتایج این پژوهش مغایرت داشت [۳۳].

با توجه به شکل ۱-a، با افزایش درصد عصاره جو دوسر در نمونه ها، pH ماست کاهش معنی داری یافت؛ به طوری که با کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره جو دوسر، pH ماست از ۴/۴۷ (نمونه شاهد) به ترتیب به ۴/۴۴، ۴/۳۹ و ۴/۳۵ کاهش یافت. همچنین همانطور که در شکل ۲-a مشاهده می شود، با افزایش درصد عصاره جو دوسر در نمونه ها، اسیدیته ماست به طور معنی داری افزایش یافت، به طوری که با کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره جو دوسر، اسیدیته ماست به ترتیب از ۰/۷۹ درصد بر حسب اسید لاکتیک (نمونه شاهد) به مقادیر ۰/۸، ۰/۸۱ و ۰/۸۱ درصد افزایش یافت. دلیل کاهش pH و افزایش اسیدیته به علت افزایش غلظت عصاره جو دوسر می تواند مربوط به تأثیر پری بیوتیکی عصاره جو دوسر بر بهبود فعالیت و رشد باکتری های پروبیوتیک باشد که قبلاً توسط پژوهشگران دیگر گزارش شده است [۲۹ و ۳۰]. به عبارتی با افزایش فعالیت باکتری های پروبیوتیک میزان تولید متابولیت های اسیدی حاصل از فعالیت آنها افزایش یافته که همین مسئله می تواند در افزایش اسیدیته و کاهش pH نهایی محصول نقش داشته باشد. در راستای نتایج این پژوهش دمیر و همکاران (۲۰۲۱)

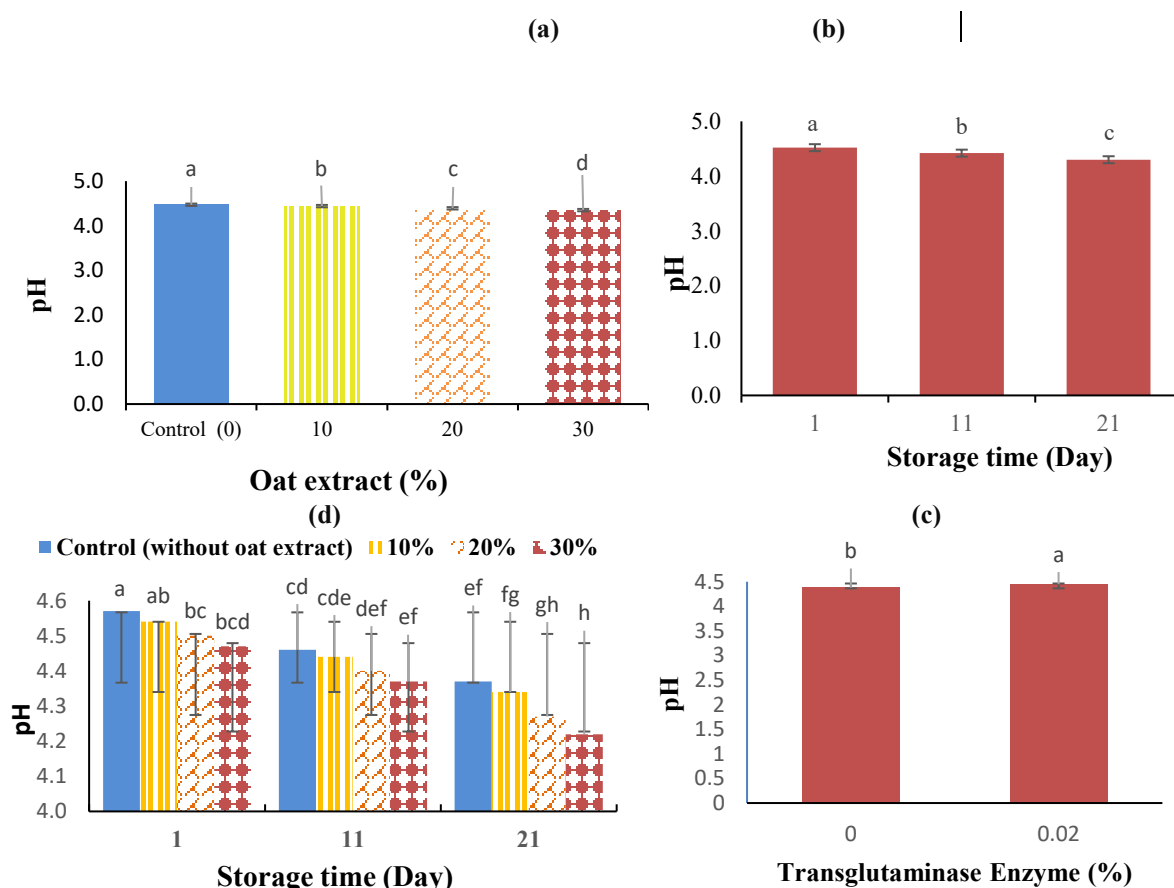


Figure 1. The effect of Oat extract (a), Transglutaminase enzyme (b) and time (c) on the pH of the probiotic yogurt samples

آلی موجود در محیط را مصرف کرده و این باعث کاهش اسیدیته محصول می‌گردد [۳۵]. ترابی و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی، رئولوژیکی، ریزساختاری و میکروبی پنی‌ر سفید اولترافیلتر شده سین‌بیوتیک تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز پرداختند و گزارش کردند که میزان pH پنی‌ر به‌طور معنی‌داری در طول دوره نگهداری (۶۰ روزه) کاهش یافت؛ اما بر اساس نتایج آنها، در کل کاربرد آنزیم موجب افزایش pH در طول دوره نگهداری شد [۳۶]. مطابق نمودارهای ۱-د و ۲-د، نمونه حاوی ۳۰ درصد عصاره جو در روز ۲۱ نگهداری دارای کمترین pH (۴/۲۲) و بیشترین اسیدیته (۰/۸۶۱ درصد برحسب اسید لاکتیک) بود، درحالی‌که نمونه شاهد در ابتدای زمان نگهداری دارای بیشترین pH

همانطور که در شکل ۱-ب مشاهده می‌شود با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان pH ماست کاهش یافته است؛ به طوری که بیشترین pH ماست (۴/۵۲) در روز اول نگهداری و کمترین آن (۴/۳۰) در روز ۲۱ نگهداری مشاهده شد. با توجه به شکل ۲-ب، مشاهده می‌شود که با افزایش مدت زمان نگهداری، میزان اسیدیته ماست نسبت به روز تولید افزایش یافته است؛ به طوری که کمترین اسیدیته ماست (۰/۷۳۸) در روز اول نگهداری و بیشترین آن (۰/۸۵۰) در روز ۲۱ نگهداری مشاهده می‌شود. با توجه به گذشت زمان نگهداری و روند طبیعی اسیدی شدن ماست بر اثر فعالیت باکتری‌های اسیدلاکتیک و تولید اسید لاکتیک این کاهش در میزان pH دور از انتظار نیست [۳۴]. بانگار و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند، میکروارگانیسم‌ها با اتمام منابع قندی در انتهای دوره نگهداری، پروتئین‌ها و اسیدهای

(۴/۵۷) و کمترین اسیدیته (۰/۷۲۴) درصد برحسب اسید لاکتیک بود.

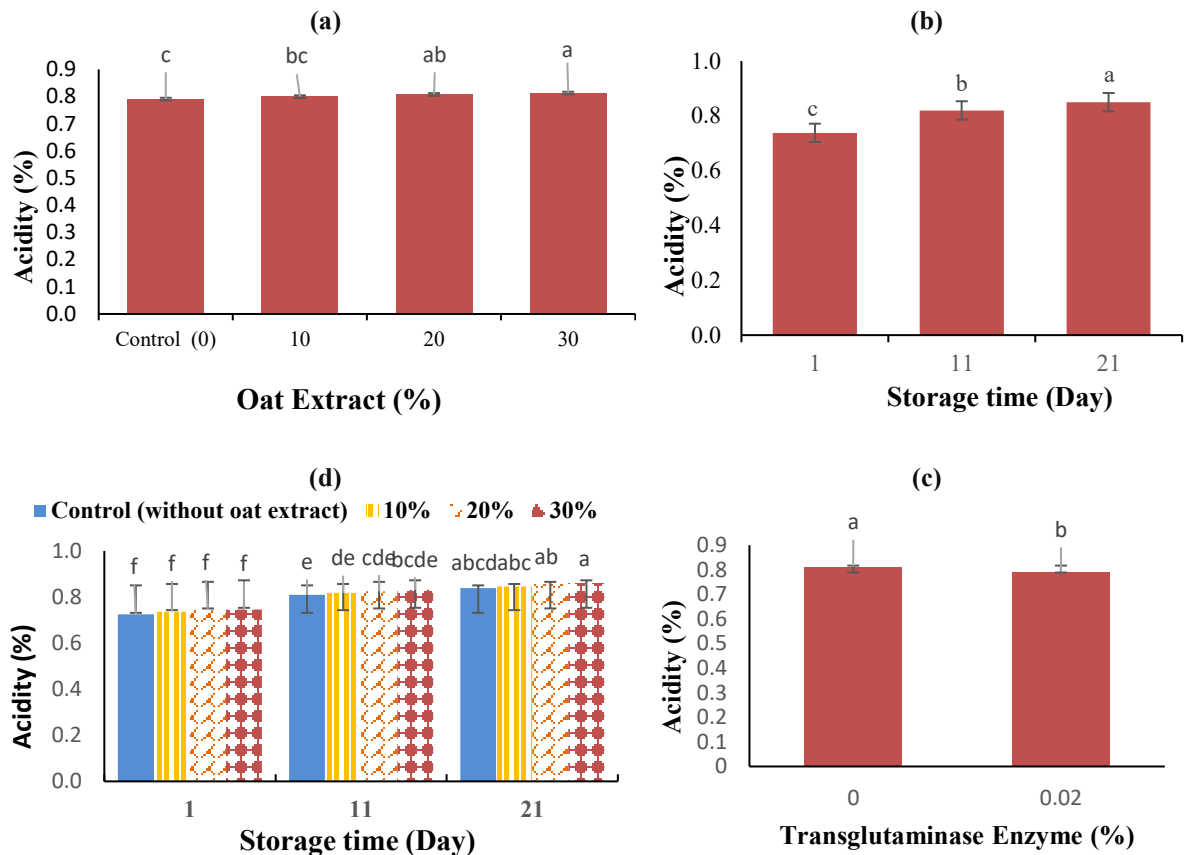


Figure 2. The effect of Oat extract (a), Transglutaminase enzyme (b) and time (c) on the acidity of the probiotic yogurt samples

خشک ماست همگام با افزایش درصد جایگزینی با عصاره جو قابل پیش‌بینی بود چرا که ماده خشک عصاره جو (۱۲/۶۳ درصد) بیشتر از ماده خشک شیر (۹/۵ درصد) مورد استفاده بود. آریانا و مگرو (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که با افزودن اینولین به فرمولاسیون ماست سویا، ماده خشک ماست افزایش یافت که دلیل این افزایش را ظرفیت بالای اینولین در نگهداری آب و در نتیجه بهبود ویسکوزیته محصول عنوان کردند [۳۷]. براکتر-گوهمن و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که با افزایش غلظت عصاره جو دوسر، میزان ماده خشک ماست سویا افزایش یافت ولی تأثیری بر میزان چربی و پروتئین نمونه‌ها نداشت [۳۸]. جوینده و علیزاده (۲۰۲۴) در پژوهش خود بیان کردند که با افزایش میزان عصاره فلفل دلمه‌ای در فرمولاسیون ماست

۲-۱-۳ ماده خشک ماست

با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱)، تنها اثر ساده عصاره جو دوسر تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک ماست داشت ($p < 0.01$) و سایر فاکتورها و همچنین اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک ماست نداشتند ($p > 0.05$). در شکل ۳-ا تأثیر غلظت عصاره جو دوسر بر ماده خشک ماست نشان داده شده است. با توجه به این شکل، با افزایش درصد عصاره جو دوسر در نمونه‌ها، ماده خشک ماست نیز افزایش یافته است، به طوری که کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره جو دوسر، ماده خشک ماست را به ترتیب از ۱۲ درصد در نمونه شاهد به ترتیب به ۱۲/۳۵، ۱۲/۶۲ و ۱۲/۹۵ درصد افزایش داد. افزایش ماده

نداشتند. باتوجه به نمودار ۳-d، نمونه حاوی ۳۰ درصد عصاره جو در پایان مدت ۲۱ روز نگهداری دارای بیشترین (۱۳/۰۲ درصد) و نمونه شاهد در ابتدای زمان نگهداری (۱۱/۹۹ درصد) دارای کمترین مقدار ماده خشک بود.

عملگرا، درصد ماده خشک ماست افزایش یافت که این محققین نیز دلیل این موضوع را بالاتر بودن درصد ماده خشک عصاره (۳۰ درصد) عنوان نمودند [۳۹]. مطابق شکل ۳-b و ۳-c، متغیرهای آنزیم و زمان نگهداری تأثیر معنی‌داری بر میزان ماده خشک نمونه‌های ماست

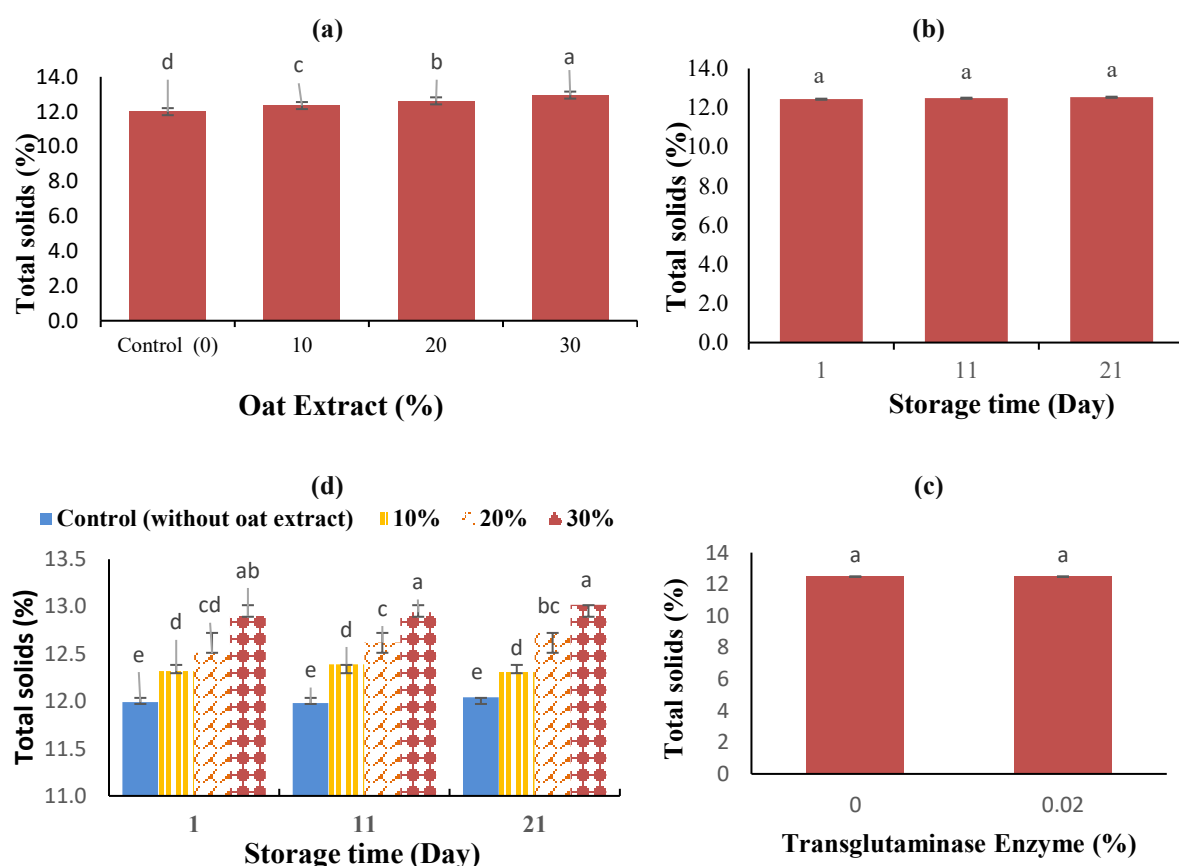


Figure 3. The effect of Oat extract (a), Transglutaminase enzyme (b) and time (c) on the dry matter percentage of the probiotic yogurt samples

نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود (شکل ۴) میزان آب‌اندازی در نمونه‌های ماست حاوی آنزیم ترانس-گلوتامیناز نسبت به نمونه‌های بدون آنزیم کاهش یافته است. کاهش آب‌اندازی، با افزایش غلظت آنزیم، به دلیل بهبود ساختار شبکه‌ی پروتئینی ماست در نتیجه فعالیت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز می‌باشد. به عبارتی با تیمار آنزیمی، شبکه پروتئینی با منافذ کوچکتری تشکیل می‌گردد که این موجب کاهش نفوذ پذیری شبکه پروتئینی گشته و می‌تواند آب آزاد بیشتری را درون خود حفظ نماید [۴۰]. درواقع، آنزیم

۳-۱-۳ آب‌اندازی ماست

همان‌گونه که در جدول ۱ می‌توان مشاهده نمود، همانند فاکتورهای pH و اسیدیته، هر ۳ متغیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، عصاره جو دوسر و زمان نگهداری تأثیر کاملاً معنی‌داری ($p < 0.001$) بر مقدار سینرزیس یا آب‌اندازی ماست داشتند اما اثر متقابل این متغیرها معنی‌دار نشد. تأثیر فاکتورهای مختلف بر میزان آب‌اندازی ماست در شکل ۴

درصد سرم جدا شده از نمونه‌های تیمار شده ماست با آنزیم ترانس گلوتامیناز، در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده، به صورت معنی‌داری کاهش یافت. این محققان تغییرات معنی‌داری در میزان آب‌اندازی نمونه‌ها در طی مدت زمان نگهداری گزارش نکردند [۴۰].

ترانس گلوتامیناز ظرفیت نگهداری آب درون شبکه کازئینی را بهبود می‌بخشد [۱۴ و ۱۶]. در تأیید نتایج این پژوهش فارن‌ورت و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که آب‌اندازی ماست پروبیوتیک حاصل از شیر بز تیمار شده با آنزیم ترانس گلوتامیناز، در مقایسه با نمونه‌های تیمار نشده کاهش یافت [۲۴]. تسودو و همکاران (۲۰۱۳) نیز گزارش کردند که

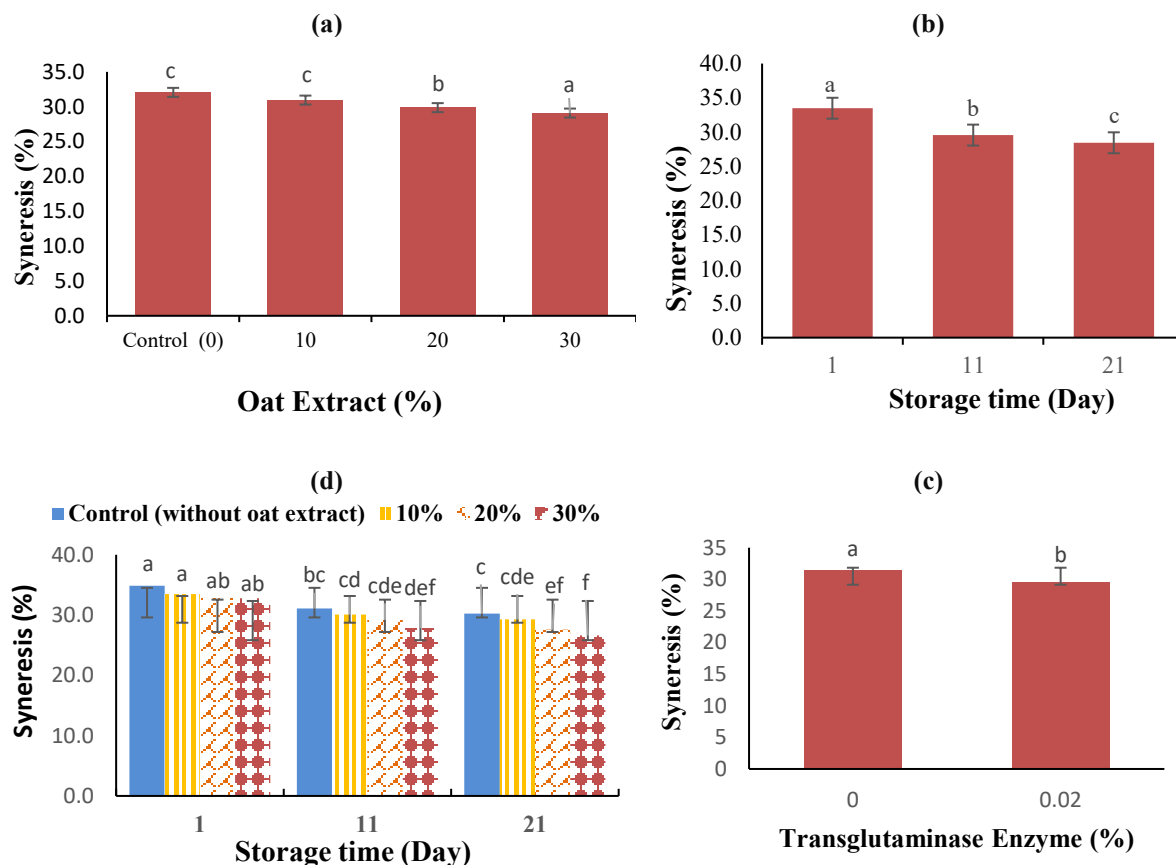


Figure 4. The effect of Oat extract (a), Transglutaminase enzyme (b) and time (c) on the syneresis (%) of the probiotic yogurt samples

دهاکا و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای تأثیر عصاره جو دوسر زنجیره بلند را بر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و میکروبی ماست پروبیوتیک حاوی لاکتوباسیلوس پاراکازئی مورد ارزیابی قرار دادند و مشاهده کردند که اضافه کردن عصاره جو دوسر باعث افزایش آب‌اندازی ماست می‌شود که با نتایج این پژوهش مغایرت داشت [۴۲]. لوکا و اوریان (۲۰۲۲) در بررسی ویژگی‌های ماست سین‌بیوتیک جو دوسر حاوی باکتری‌های ریزپوشانی‌شده گزارش کردند که با تلفیق ترکیبات پری‌بیوتیکی شامل الیگوفروکتوز، اینولین و نشاسته

با توجه به شکل ۴-ا، با افزایش درصد عصاره جو دوسر در نمونه‌ها، آب‌اندازی ماست کاهش یافت؛ به طوری که با افزودن مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره جو دوسر، مقدار آب‌اندازی ماست از ۳۲/۰۶ درصد (نمونه شاهد) به ترتیب به ۳۰/۹۵، ۲۹/۸۷ و ۲۹/۰۹ درصد کاهش یافت. ویژگی جذب آب عصاره جو دوسر به دلیل وجود فیبر محلول می‌تواند دلیل این کاهش باشد؛ چراکه این ماده باعث مهار قسمتی از آب جدا شده از ماست می‌گردد [۴۱]. درهرحال،

تأثیر فاکتورهای مختلف بر امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، بیشتر از نمونه‌های بدون آنزیم بوده است. با توجه به شکل ۵-a، با افزایش درصد عصاره جو دوسر، امتیاز پذیرش کلی نمونه افزایش یافته است، به طوری که به ترتیب با کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد عصاره جو دوسر، امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های ماست به میزان ۲/۸۱، ۷/۰۲ و ۱۱/۳۷ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش یافته است. همانگونه که مشاهده می‌شود (شکل ۵-b) با گذشت زمان، میزان امتیاز پذیرش کلی نمونه‌ها کاهش یافته است، به طوری که بیشترین امتیاز نمونه‌های ماست به ترتیب مربوط به روز اول (۸/۴۱) و روز یازدهم نگهداری (۸/۳۳) بود، که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($p > 0.05$). کمترین امتیاز (۸) نیز در روز بیست و یکم مشاهده شد. جوینده و علیزاده (۲۰۲۴) در نتایجی مشابه بیان کردند که افزودن عصاره گیاهی فلفل دلمه‌ای با رنگ‌های مختلف به فرمولاسیون ماست عملگرا، هرچند تفاوت معنی‌داری در ابتدای زمان نگهداری ایجاد نکرد، اما در دوره‌های ۱۱ و ۲۱ روز نگهداری سبب شد که نمونه شاهد (ماست فاقد عصاره گیاهی) از قابلیت پذیرش بیشتری برخوردار باشد [۳۹]. باتوجه به نمودار ۵-d، نمونه حاوی ۳۰ درصد عصاره جو در پایان مدت ۲۱ روز نگهداری دارای کمترین (۶/۹۳ امتیاز) و نمونه شاهد در ابتدای زمان نگهداری (۸/۵۸) دارای بیشترین امتیاز پذیرش کلی بود.

محلول سیب‌زمینی در کپسول‌ها می‌توان ماستی با کیفیت مشابه از نظر خواص حسی و بافت با ماست شاهد تولید نمود و به این ترتیب اثر منفی جو دوسر را کاهش داد. به علاوه با این روش می‌توان تعداد باکتری‌های پروبیوتیک ماست را طی مدت زمان نگهداری افزایش داد [۴۳]. همانطور که در شکل ۴-b مشاهده می‌شود بیشترین آب‌اندازی ماست (۳۳/۴۸ درصد) در روز اول و کمترین آن (۲۸/۴۴ درصد) در روز ۲۱ نگهداری در یخچال می‌باشد. در طی نگهداری ماست، با توجه به افت تدریجی pH، شبکه پروتئینی به صورت نامنظم و غیر یکنواخت تشکیل می‌شود که در نتیجه گروه‌های آب‌گریز پروتئین‌ها در سطح شبکه ژلی قرار گرفته و این موجب افزایش آب‌اندازی در انتهای زمان نگهداری می‌گردد [۴۴]. همین مسأله می‌تواند یکی از دلایل کاهش مهم آب‌اندازی ماست در طول دوره نگهداری باشد. در هر حال در رابطه با تغییرات آب‌اندازی در طی دوره نگهداری ماست نتایج متفاوتی گزارش شده است. علیرضالو و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی تولید ماست رنگی فراسودمند بیان کردند که میزان آب‌اندازی در تمامی نمونه‌های ماست با گذشت زمان روندی افزایشی داشته است [۴۵]؛ در حالی که جوینده و همکاران (۱۳۹۴) به کاهش آب‌اندازی نمونه‌های ماست با گذشت زمان اشاره کرده‌اند [۴۶]. باتوجه به نمودار ۴-d، نمونه حاوی ۳۰ درصد عصاره جو در پایان مدت ۲۱ روز نگهداری دارای کمترین سینرزیس (۲۶/۶۳ درصد) و نمونه شاهد در ابتدای زمان نگهداری (۳۴/۸۵ درصد) دارای بیشترین مقدار ماده خشک بود.

۳-۲ پذیرش کلی محصول

طبق نتایج تجزیه واریانس مربوط به فاکتور پذیرش کلی محصول در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که در جدول نیز مشاهده می‌شود، فاکتورهای آنزیم و عصاره جو دوسر تأثیر معنی‌داری بر پذیرش کلی نمونه‌های ماست داشتند ($p < 0.05$)، در حالی که اثرات متقابل آنها معنی‌دار نشد ($p > 0.05$).

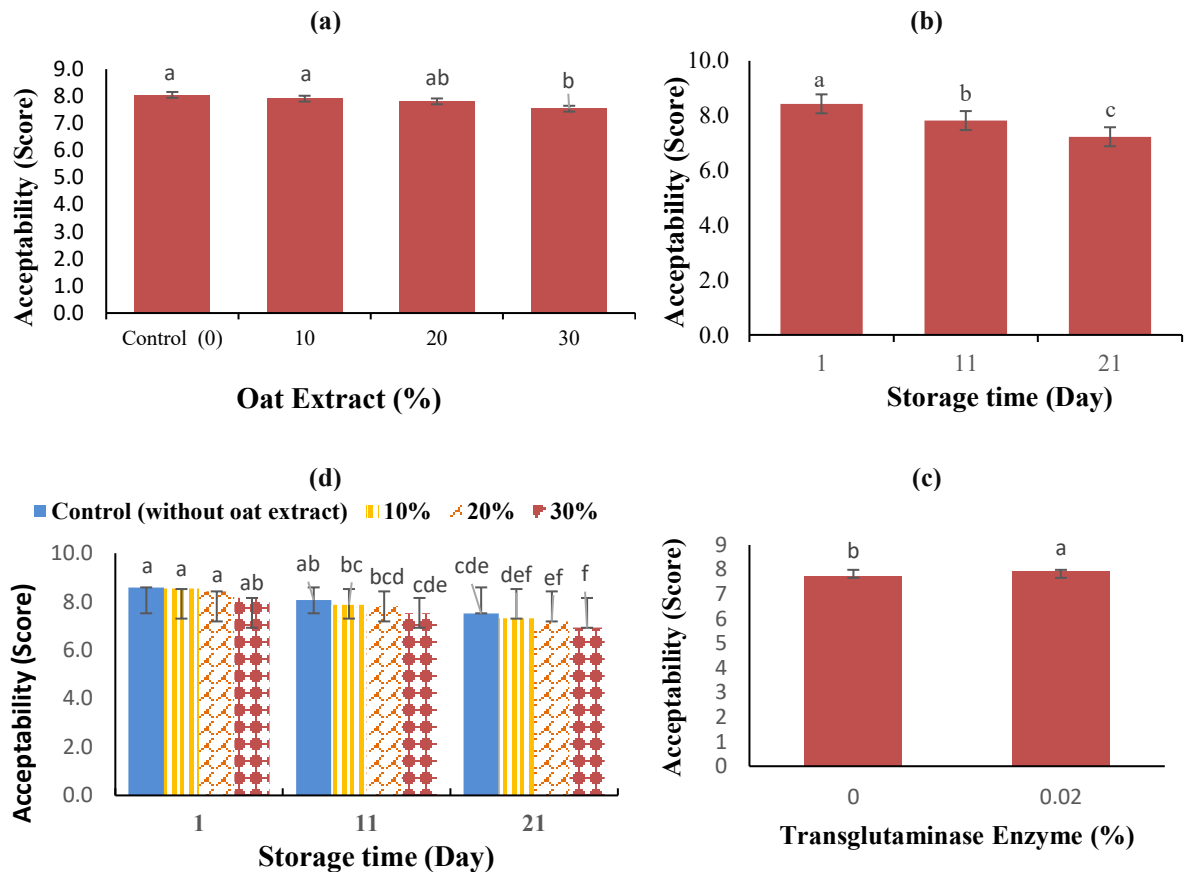


Figure 5. The effect of Oat extract (a), Transglutaminase enzyme (b) and time (c) on the total acceptability of the probiotic yogurt samples

اندازی به طور معنی‌داری کاهش و میزان اسیدیته افزایش یافت. این در حالی است که تغییر معنی‌داری در میزان ماده خشک مشاهده نشد. بررسی ویژگی‌های حسی نشان داد که با کاربرد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، امتیاز پذیرش کلی کاهش یافت؛ در حالی که افزایش درصد عصاره جو دوسر موجب افزایش امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های گردید. لذا می‌توان نتیجه گرفت که با کاربرد عصاره جو دوسر علاوه بر افزایش ارزش تغذیه‌ای پرمصرف‌ترین محصول تخمیری ایران، یعنی ماست، می‌توان محصولی کم‌چرب با خواص حسی مطلوب تولید نمود.

۴-نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، تولید ماست کم‌چرب حاوی مقادیر مختلف عصاره جو دوسر همراه با تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز میکروبی انجام شد و تأثیر این فاکتورها بر خواص فیزیکوشیمیایی و پذیرش کلی نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج فیزیکوشیمیایی نشان داد که با افزایش غلظت آنزیم، مقدار اسیدیته و آب‌اندازی کاهش و میزان pH به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ در حالی که تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک مشاهده نشد. همچنین افزایش غلظت عصاره جو دوسر به طور معنی‌داری باعث افزایش اسیدیته و ماده خشک و کاهش pH و آب‌اندازی نمونه‌های ماست گردید. اثر زمان نگهداری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های ماست نشان داد که با گذشت زمان نگهداری، مقدار pH و آب-

۵-منابع

- [1] Jooyandeh, H. 2024. Novel & Functional Foods: 1st ed., Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University Press. (In Persian)
- [2] Mollakhalili Meybodi, N. Mortazavian, A.M., Sohrabvandi, S., da Cruz, A.G., & Mohammadi, R. 2017. Probiotic Supplements and Food Products: Comparison for Different Targets. Applied Food Biotechnology, 4(3): 123-132
- [3] Willett, W., J. Rockström, B. Loken, M. Springmann, T. Lang, S. Vermeulen, T. Garnett, D. Tilman, F. DeClerck, & A. Wood. 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. Lancet, 393:447–492.
- [4] Jooyandeh H., Ebrahimi Kaykha, M.H., Alizadeh Behbahani B., & Noshad, M. 2023. Evaluating the quality of mutton meat coated with *Cordia myxa* fruit mucilage containing *Rosmarinus officinalis* essential oil during cold storage. Journal of Food Measurement and Characterization, 17: 2062–2074.
- [5] Ababaf, Kh., Jooyandeh, H., & Nasehi, B. 2020. Effect of transglutaminase enzyme treatment on the physicochemical and microbial properties of synbiotic soy yogurt. Journal of Food Researches, 30(3): 189-201. (In Persian)
- [6] Yang, X., Y. Su, & L. Li. 2020. Study of soybean gel induced by *Lactobacillus plantarum*: Protein structure and intermolecular interaction. Lebensm. Wiss. Technol., 119: 108794.
- [7] Montemurro, M., Pontonio, E., Coda, R., & Rizzello, C.G. 2021. Plantbased alternatives to yogurt: State-of-the-art and perspectives of new biotechnological challenges. Foods, 10: 316.
- [8] Gupta, M.K., Torrico, D.D., Ong, L., Gras, S.L., Dunshea, F.R., & Cottrell, J.J. 2022. Plant and dairy-based yogurts: A comparison of consumer sensory acceptability linked to textural analysis. Foods, 11:463.
- [9] Jooyandeh, H. & Alizadeh Behbahani, B. 2025. Investigation on some quality parameters of probiotic UF-Iranian white cheese containing caffeine, Journal of Agriculture and Food Research, 21 2025.
- [10] Angelov, A., Gotcheva, V., Kuncheva, R. & Hristozova, T. 2006. Development of a new oat-based probiotic drink. International Journal of Food Microbiology, 112: 75-80.
- [11] Welch, R.W. 1995. Oats in human nutrition and health. In: R.W. Welch (ed.). The Oat Crop. Chapman and Hall, London, New York, pp. 433–79.
- [12] Truswell, A.S. 2002. Cereal grain and coronary heart disease. European Journal of Clinical Nutrition. 56: 1–4.
- [13] Jooyandeh, H., Momenzadeh, S., Alizadeh Behbahani, B. & Barzegar, H. 2023. Effect of *Malva neglecta* and lactulose on survival of *Lactobacillus fermentum* and textural properties of symbiotic stirred yogurt. Journal of Food Science & Technology, 60(3): 1136–1143.
- [14] Jooyandeh, H., Goudarzi, M., Rostamabadi, H., & Hojjati, M. 2017. Effect of Persian and almond gums as fat replacers on the physicochemical, rheological, and microstructural attributes of low- fat Iranian White cheese. Food Science & Nutrition, 5: 669-677.
- [15] Ionesca, A., Aprodu, I., Daraha, A. & Pornela, L. 2008. The effects of transglutaminase on the functional properties of the myofibrillar protein concentrate obtained from beef heart. Meat Science, 79: 278-284.
- [16] 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.
- [17] 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 & Nutrition, 12(11): 9810-9821.
- [18] Clarke, D.D., Mycek, M. J., Neidle, A., & Waelsch, H. 1959. The incorporation of amines into proteins. Archives of Biochemistry and Biophysics, 79: 338-354.
- [19] Bulca, S., & Büyükgümüş, E. 2024. Production of yogurt analogs from peanut milk (extract) using microbial transglutaminase and two different starter cultures. LWT- Food Science and Technology, 205: 116546.
- [20] Ibrahim, O. Glibowski, P., Nour, M., El-Hofi, M., El-Tanboly, E. & Abd-Rabou, N. 2017. Effect of Rosemary Transglutaminase on Yoghurt Fortified with Whey Protein Isolate. Pol. Journal of Food Nutrition Science, 67(4): 265–274.
- [21] Darnay, L., Téglás, F., Süth, M., Friedrich, L.F., Boros, A. & Varga-Tóth, A. (In press) Texture Improvement Possibilities for Plant-Based Yogurt Alternatives. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5224564> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5224564>
- [22] Yademellat, M., Jooyandeh, H., & Hojjati, M. 2018. Comparison of some physiochemical and sensory properties of low-fat stirred yogurt containing Persian and Balangu-Shirazi gums. Journal Food Science & Technology (Iran). 14(72): 313-326. (In Persian)
- [23] AOAC, 2002. Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD.
- [24] Farnworth, J.P., Lia, J., Hendricks, G.M. & Guo, M.R. 2006. Effects of transglutaminase treatment on functional properties and probiotic culture survivability of goat milk yogurt. Small Ruminant Research, 65: 113-121.
- [25] Aprodu, I., Gurau, G., Ionescu, A. & Banu, I. 2011. The effect of transglutaminase on the rheological properties of yogurt. Scientific Study and Research, 12(2): 185-196.
- [26] Mahmood, W.A. & Sebo, N.H. 2012. Improvement of Yogurt Properties by Microbial Transglutaminase. Jordan Journal of Agricultural Sciences, 8(3): 333-342.
- [27] Wróblewska, B., Kołakowski, P., Pawlikowska, K., Troszyńska, A. & Kaliszewska, A. 2009. Influence of the addition of transglutaminase on the immunoreactivity of milk proteins and sensory quality of kefir. Food Hydrocolloids, 23(8): 2434-2445.
- [28] Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B. & Noshad, M., Saffari Samani, E. 2022. Impact of transglutaminase enzyme on some characteristics of

- strained yoghurt prepared from cow and buffalo milk mixture. *Food Processing and Preservation Journal*, 14(2): 17-34. (In Persian)
- [29] Abdelshafy, A.M., Mustafa, M.A., Hassan, M.A., & Al-Asmari, F. 2024. Probiotic-fermentation of oat: Safety, strategies for improving quality, potential food applications and biological activities. *Trends in Food Science & Technology*, 104640.
- [30] Zhang, Y., Li, Y., Ren, X., Zhang, X., Wu, Z., & Liu, L. 2023. The positive correlation of antioxidant activity and prebiotic effect about oat phenolic compounds. *Food Chemistry*, 402: 134231.
- [31] Demir, H., Simsek, M., & Yildirim, G. 2021. Effect of oat milk pasteurization type on the characteristics of yogurt. *Lwt- Food Science and Technology*, 135: 110271.
- [32] Alqahtani, N.K., Darwish, A.A., El-Menawy, R.K., Alnemr, T.M., & Aly, E. 2021. Textural and organoleptic attributes and antioxidant activity of goat milk yoghurt with added oat flour. *International Journal of Food Properties*, 24(1): 433-445.
- [33] Anli, E.A., Gursel, A., Gursoy, A., & Mert, B. 2023. Assessment of the quality attributes of oat β -glucan fortified reduced-fat goat milk yogurt supported by microfluidization. *Foods*, 12(18): 3457.
- [34] Milani, E. & Koocheki, A. 2011. The effects of date syrup and guar gum on physical, rheological and sensory properties of low fat frozen yoghurt dessert. *International Journal of Dairy Technology*. 64(1): 121-129.
- [35] Bangar, S.P., Suri, S., Trif, M., & Ozogul, F. 2022. Organic acids production from lactic acid bacteria: A preservation approach. *Food Bioscience*, 46: 101615.
- [36] Torabi, F., Jooyandeh, H., & 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): e15572.
- [37] Aryana, K.J. & McGrew, P. 2007. Quality attributes of yogurt with *lactobacillus* and various prebiotics. *LWT-Food Science and Technology*, 40: 1808-1814.
- [38] Brückner-Gühmann, M., Benthin, A., & Drusch, S. 2019. Enrichment of yoghurt with oat protein fractions: Structure formation, textural properties and sensory evaluation. *Food Hydrocolloids*, 86, 146-153.
- [39] Jooyandeh, H. & Alizadeh Behbahani, B. 2024. Development of a probiotic low-fat set yogurt containing concentrated sweet pepper extract. *Food Science & Nutrition*, 12(7): 4656-4666.
- [40] Tsevdou, M.S., Eleftheriou, E.G. & Taoukis, P.S. 2013. Transglutaminase treatment of thermally and high pressure processed milk. Effect on the properties and storage stability of set yoghurt. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17: 144-152.
- [41] Hashim, I.B., Khalil, H., & Afifi, H.S. 2009. Quality characteristics and consumer acceptance of yogurt fortified with date fiber. *Journal of Dairy Science*, 92: 5403-5407.
- [42] Dhakal, D., Kumar, G., Devkota, L., Subedi, D., & Dhital, S. 2024. The choice of probiotics affects the rheological, structural, and sensory attributes of lupin-oat-based yoghurt. *Food Hydrocolloids*, 156: 110353.
- [43] Luca, L., & Oroian, M. 2022. Oat Yogurts Enriched with Synbiotic Microcapsules: Physicochemical, Microbiological, Textural and Rheological Properties during Storage. *Foods*, 11(7): 940.
- [44] Arab, M., Yousefi, M., Khanniri, E., Azari, M., Ghasemzadeh-Mohammadi, V., & Mollakhalili-Meybodi, N. 2023. A comprehensive review on yogurt syneresis: Effect of processing conditions and added additives. *Journal of Food Science and Technology*, 60(6): 1656-1665.
- [45] Alirezalu, K., Hesari, J., Sadeghi, M.H. & Bak-Mohammadpour, M. 2016. Production of functional colored yoghurts incorporating with blackberry and carrot extracts. *Innovative Food Technologies*, 3(2): 53-64. (In Persian).
- [46] Jooyandeh, H., Mahmoodi, R., Samavati, V., & Hojjati, M. 2015. Effect of cold enzymatic treatment of milk by transglutaminase on textural properties of yogurt. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 13(1): 91-99. (In Persian)



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Production of Functional Yogurt Enriched with Oat Extract Using Microbial Transglutaminase Enzyme

Parwin Kianara¹, Hossein Jooyandeh^{*2}, Mohammad Noshad³, Mohammad Hojjati², Mohammad Amin Mehrnia³

1- M.Sc., 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

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

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/05/14

Accepted: 2025/09/24

Keywords:

Transglutaminase enzyme,

Synbiotic,

Oat extract,

Functional yogurt.

DOI: 10.48311/fsct.2025.84051.0.

*Corresponding Author E-

hosjooy@asnrkh.ac.ir

ABSTRACT

The yogurt production and consumption has grown significantly in recent years due to increasing consumer awareness of its effects on health. Reducing the fat percentage in low-fat yogurts can affect the product characteristics, so finding a formulation that can compensate for the effects of fat reduction while maintaining sensory characteristics is of great importance. In this study, the effect of microbial transglutaminase enzyme at two levels (0 and 0.02% w/v) and replacing oat extract with milk at four levels (0, 10, 20, and 30% v/v) on the physicochemical properties and overall acceptance of synbiotic yogurt during storage was investigated. The results showed that the use of this enzyme significantly increased the pH and reduced the acidity and syneresis of the yogurt ($p < 0.01$) compared to the control sample, but had no effect on the dry matter content of the samples. Also, with increasing percentage of oat extract, the acidity and dry matter of yogurt increased and the pH of the samples decreased significantly ($p < 0.01$). Also, with the passage of storage time, pH and water content decreased and acidity increased significantly ($p < 0.001$), while, like the enzyme, the storage time variable did not have a significant effect on the dry matter of yogurt. Sensory results showed that, unlike the transglutaminase enzyme, increasing the percentage of oat extract caused a decrease in the overall acceptance score of the product, but no significant difference was observed in this regard between the control sample with yogurt samples containing 10 and 20 percent of barley extract. Therefore, according to the results of the study, in order to produce functional yogurt, transglutaminase enzymatic treatment (0.02 percent) and the use of 20 percent oat extract in the product formulation are recommended.