

DOI: 10.22034/FR.2021.38951.1729

## تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های پایداری، گرما وزن سنجی و رئولوژیکی سس سفید کم کالری

سجاد نگهداری<sup>۱</sup> و صدیقه یزدان پناه<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۹

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران

\*مسئول مکاتبه: Email: yazdanpanah2004@gmail.com

### چکیده

**زمینه مطالعاتی:** استفاده از جایگزین‌های چربی در سس سفید نقش مؤثری در تولید یک محصول کم‌کالری ایفا خواهد نمود. جایگزین‌های چربی به طور عمده بر پایه کربوهیدرات و پروتئین هستند. آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی یک آنزیم از گروه ترانسفرازها بوده، که به صورت گسترده به منظور اصلاح ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها در مواد غذایی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. **هدف:** از این پژوهش بررسی سطوح مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز بر ویژگی‌های پایداری، رئولوژیکی و گرما وزن سنجی سس سفید کم‌کالری می‌باشد. **روش کار:** برای این منظور هفت تیمار مختلف با مقادیر متفاوت چربی (۰، ۲۵، ۳۷/۵۰ و ۵۰ گرم) و آنزیم (۱۰۰ و ۲۰۰ ppm) تولید شد. تمامی آزمون‌ها در ۳ تکرار انجام شد. برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار GraphPad Prism 5.0 انجام گرفت. **نتایج:** حداقل و حداکثر مقدار ویسکوزیته در تیمارهای حاوی ۲۰۰ ppm و ۱۰۰ آنزیم با ۳۷/۵۰ گرم چربی مشاهده شد. بیشترین مقدار پایداری حرارتی (۹۵/۱۰ درصد) و فیزیکی (۹۵/۹۱ درصد) در تیمارهای حاوی ۲۰۰ ppm آنزیم با ۳۷/۵۰ و ۰/۰۰ گرم چربی ایجاد شد. تیمار حاوی ۲۰۰ ppm آنزیم با ۳۷/۵۰ گرم چربی دارای کمترین مقدار (۶۴/۲۸ درصد) آب آزاد بود. حداکثر مقدار تنش برشی (۱۶۶/۳۰ pa) در تیمار حاوی ۱۰۰ ppm آنزیم با ۳۷/۵۰ گرم چربی مشاهده شد. **نتیجه‌گیری نهایی:** این پژوهش نشان داد که آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی، دارای پتانسیل بالایی برای استفاده در فرمولاسیون سس سفید کم کالری می باشد.

**واژگان کلیدی:** آنزیم ترانس گلوتامیناز، سس سفید، کالری پایین

### مقدمه

کالری (۹kcal/g) را در مقایسه با پروتئین و کربوهیدرات (۴kcal/g) فراهم می‌نماید. دریافت اضافی چربی از مهم‌ترین عوامل ابتلا به اضافه وزن و چاقی است که خود زمینه‌ساز بیماری‌های قلبی و عروقی، افزایش فشار خون و دیابت است. طبق توصیه سازمان-

نگرانی‌های متعددی در ارتباط با چربی رژیم غذایی به عنوان منبع اضافی کالری، اسیدهای چرب اشباع شده و کلسترول و نیز ارتباط چربی با بروز بیماری‌های قلبی و عروقی، سرطان و چاقی وجود دارد. چربی بیشترین

های بین‌المللی کل چربی ورودی باید کمتر از ۳۰ درصد انرژی روزانه باشد. در حالی که چربی‌های اشباع کمتر از ۱۰ درصد، چربی‌های یک اشباعی و چند اشباعی حداقل ۰/۶۶ انرژی روزانه را تشکیل دهند (شکراللهی و میرزاده ۱۹۹۹). برهمین اساس مصرف‌کنندگان تمایل به استفاده از فراورده‌های کم کالری و کم‌چرب مانند محصولات ترکیبی مایونز، ماست و فراورده‌های فاقد تخم مرغ دارند (مقصودی ۲۰۰۵). درحالی‌که کیفیت این محصولات تغییر نکرده و مشابه با کیفیت محصولات پرچرب است. بنابراین لازم است در صورت کاهش درصد چربی از ترکیباتی استفاده نمود که قادر به شبیه‌سازی ویژگی‌های چربی باشند (تراچو و میستری ۱۹۸۹). پروتئین‌ها ترکیبات ایده‌آل برای شبیه‌سازی ویژگی‌های چربی در مواد غذایی هستند (اریس و همکاران ۱۹۹۱). آنزیم ترانس گلوتامیناز پروتئینی با وزن مولکولی ۲۷۳۶۸ دالتون، حاوی ۳۳۱ اسید آمینه است که در گروه آنزیم‌های ترانسفراز (EC 2.3.3.13) طبقه‌بندی می‌شود. عملکرد این آنزیم به‌صورت برقراری اتصال بین اسید آمینه گلوتامین از یک پروتئین و اسید آمینه لیزین از پروتئین دیگر بوده بدون آنکه اثر نامطلوبی بر دسترسی زیستی لیزین و در نتیجه ارزش تغذیه‌ای پروتئین حاصل داشته باشد (تراچو و میستری ۱۹۸۹؛ کوراند و همکاران ۲۰۱۶). برقراری پیوند آسیلی بین گروه آمینی از اسید آمینه لیزین موجود در یک رشته پروتئینی با اسید آمینه گلوتامین از رشته دیگر، موجب افزایش استحکام دو رشته و در نتیجه افزایش ویسکوزیته محصول می‌شود (آندو و همکاران ۱۹۸۹). با توجه به این که آنزیم منشا گیاهی دارد، برای کاربرد در صنعت بسیار مناسب است (گیس فاوونی و بوونو ۲۰۱۴). مطالعات مشابهی در زمینه تولید سس‌های کم‌چرب و کاربرد آنزیم ترانس گلوتامیناز در محصولات مختلف انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود. لیو و همکاران (۲۰۰۷) به منظور تولید سس مایونز کم‌چرب از مقلدهای چربی بر پایه ایزوله

پروتئینی آب پنیر و پکتین با درجه متوکسیله پایین مانند ژل پکتین دارای ذرات میکرو، پکتین با ژل ضعیف و ژل پکتین در ترکیب با ایزوله پروتئینی آب پنیر دارای ذرات میکرو استفاده نمودند. درصد جایگزینی چربی در مطالعه آن‌ها ۵۰٪ بود. نمونه‌های کم چرب نسبت به نمونه‌های پرچرب دارای انرژی پایین‌تر و محتوای آب بالاتری بودند. نمونه‌های حاوی پکتین با ژل ضعیف بافتی مشابه با نمونه‌های پرچرب ایجاد کردند. نمونه‌های حاوی پکتین با درجه متوکسیله پایین خواص حسی قابل قبولی نشان دادند. بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی نشان داد که هر دو نوع مایونز کم چرب و پرچرب رفتاری رقیق‌شونده با برش داشتند (لیو و گوا ۲۰۰۷). مونو و همکاران (۲۰۰۹) برای تولید جایگزین مناسب چربی در سس مایونز از آنزیم گلوکانوترانسفراز به منظور اصلاح ویژگی‌های ساختاری نشاسته برنج استفاده نمودند. جایگزینی چربی در فرمولاسیون سس مایونز با نشاسته اصلاح شده برنج تا ۵۰ درصد و در ترکیب با صمغ زانتان بود. نتایج آزمون‌های رئولوژیکی نمونه‌ها نشان‌دهنده رفتار رقیق‌شونده با برش و همچنین ویژگی‌های مشابه ژل ضعیف بود. غلظت نشاسته تیمار شده با آنزیم و حضور صمغ زانتان بر بزرگی مدول الاستیک و افت موثر بود (مونو و همکاران ۲۰۰۹). نتایج مطالعه رسا و همکاران (۲۰۱۲) بر بستنی‌های با درصد چربی ۴، ۶ و ۸ درصد و حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز نشان داد بستنی‌های حاوی آنزیم در مقایسه با نمونه‌های فاقد آن ضمن رفتار سودوپلاستیک، ضریب افزایش حجم و شاخص رفتار جریان بالاتری را از خود نشان دادند (رسا و همکاران ۲۰۱۲). محمود و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کرده‌اند که اضافه کردن آنزیم ترانس گلوتامیناز به ماست می‌تواند باعث افزایش قدرت ژل، ویسکوزیته و در نتیجه کاهش سینرزیس گردد (محمود و همکاران ۲۰۱۲). وجیهه فدائی نوغانی و همکاران (۲۰۱۴) اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (با

چربی کاهش یافته و ارزیابی خصوصیات شیمیایی، رئولوژیکی و گرما وزن سنجی این محصول می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### مواد اولیه

شیر (۳ درصد چربی) و کره از شرکت پگاه فارس تهیه شد. آرد سفید (قنادی) از مراکز فروش لوازم قنادی خریداری شد. آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی با فعالیت ۸۰ واحد بر گرم از شرکت بازرگانی سامان تهران خریداری شد.

#### آماده سازی سس سفید

برای تهیه سس‌ها ابتدا آرد همراه با شیر درون میکسر ریخته شد و پس از اختلاط کامل (۴۵ ثانیه) آنزیم ترانس گلوتامیناز به تدریج به داخل میکسر اضافه شده و خوب به هم زده شد (یک دقیقه)، سپس کره به مخلوط اضافه شد و همزدن به مدت ۵ دقیقه ادامه یافت و پس از تشکیل امولسیون و ایجاد بافتی مناسب، نمونه سس-ها در ظروف شیشه‌ای پر شد. در تیمارهای مورد استفاده برای درصد جایگزینی به مقدار حذف چربی به میزانی برابر شیر و آرد استفاده شد. میزان کاهش چربی بر حسب مقدار کره اضافه شده، محاسبه گردیده است.

غلظت ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ گرم بر لیتر) را به عنوان جایگزین بخشی از کنسانتره پروتئینی شیر را بر ویژگی‌های ماست اسفناج بررسی کردند. نتایج ارزیابی‌های فیزیکی شیمیایی و حسی، تغییر معنی‌داری در مقادیر pH و اسیدیته نمونه‌ها نشان نداد در حالی که ویسکوزیته نمونه‌ها با افزودن آنزیم افزایش و سینرزیس طی دوره نگهداری آن‌ها کاهش یافت. بهترین نتیجه مربوط به غلظت ۰/۱ گرم بر لیتر بود. همچنین آن‌ها بیان نمودند افزایش غلظت آنزیم می‌تواند موجب بهبود بیشتر ویژگی‌های محصول گردد، اگرچه اقتصادی نمی‌باشد (وجیهه فدائی نوغانی و همکاران ۲۰۱۴). سیقالانی و همکاران (۲۰۱۷) آنزیم ترانس گلوتامیناز را به ژل سورمی ماهی تیلایپا اضافه کردند و ویژگی‌های حرارتی و فیزیکی شیمیایی آن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز، بافت محصول، ظرفیت نگهداری آب، الاستیسیته و پایداری حرارتی ژل به‌طور معنی‌داری بهبود یافت (سیقالانی و همکاران ۲۰۱۷). با توجه به کاربرد منحصر به فرد آنزیم ترانس گلوتامیناز در بهبود کیفیت محصولات لبنی، هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر این آنزیم در تولید سس سفید با

جدول ۱- مقدار چربی و آنزیم ترانس گلوتامیناز مورد استفاده در نمونه‌های مختلف سس سفید

Table 1- Amount of fat and transglutaminase enzyme used in different samples of white sauce

| Treatment | Fat reduction percentage | Transglutaminase enzyme (ppm) |
|-----------|--------------------------|-------------------------------|
| A         | 0 ( 50 g fat )           | -                             |
| B         | 25 ( 37.5 g fat )        | (100 ppm)                     |
| C         | 25 ( 37.5 g fat )        | (200 ppm)                     |
| D         | 50 ( 25 g fat )          | (100 ppm)                     |
| E         | 50 ( 25 g fat )          | (200 ppm)                     |
| F         | 100 ( 0 g fat )          | (100 ppm)                     |
| G         | 100 ( 0 g fat )          | (200 ppm)                     |

گراد قرار داده شد و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ گردیدند. پس از این مرحله، لایه‌ی روغن دور ریخته شد و وزن رسوب باقیمانده اندازه‌گیری گردید و پایداری امولسیون بر

### پایداری حرارتی و فیزیکی

جهت اندازه‌گیری پایداری حرارتی، ۱۵ گرم نمونه درون لوله‌های سانتریفیوژ با وزن مشخص ریخته شد و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی-

(دانکن) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار GraphPad Prism 5.0 انجام گرفت.

## نتایج و بحث

### پایداری حرارتی

بر اساس جدول ۲ در تمامی تیمارها میزان پایداری حرارتی نسبت به تیمار کنترل افزایش پیدا کرده است. تیمار C با ۳۷/۵۰ گرم چربی و ۲۰۰ ppm آنزیم ترانس گلوتامیناز، بیشترین درصد پایداری حرارتی را بعد از یک روز نگهداری در دمای یخچال داشته است. امولسیون پایداری است که پدیده ادغام شدن، به هم چسبیدن قطرات و خامه‌ای شدن در آن رخ ندهد. این پدیده در سس‌های پرچرب (۸۰ درصد) به ندرت دیده می‌شود. زیرا قطرات روغن بیش از حد با یکدیگر تماس داشته و اصطکاک ایجاد شده مانع خامه‌ای شدن می‌شود. در نمونه‌هایی با چربی کاهش یافته با استفاده از جایگزین‌های چربی این مشکل مرتفع می‌شود (جونز ۱۹۹۶). مطابق با قانون استوک با افزایش گرانیوی فاز پیوسته سرعت جداسازی فازها کمتر و امولسیون پایداری خواهد بود، در صورتی که گرانیوی کاهش یابد ذرات بیشتر حرکت کرده و آب اندازی بیشتر می‌شود. نور هدایتی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کرده‌اند که افزایش مقدار آنزیم ترانس گلوتامیناز از ۱۰۰ ppm به ۲۰۰ (با کاهش مقدار چربی) باعث افزایش پایداری حرارتی تیمارها با تاثیر بر گرانیوی شده است، فعالیت آنزیم با ایجاد اتصالات عرضی و تغییر ساختار پروتئین‌ها موجب افزایش سطح به حجم و افزایش اصطکاک بین ترکیبات سس و در نتیجه افزایش پایداری امولسیون می‌شود (اوزر و همکاران ۲۰۰۷).

حسب درصد با استفاده از فرمول ۱ محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری پایداری فیزیکی، ۱۵ گرم نمونه درون لوله‌های سانتریفوژ با وزن مشخص ریخته شد و لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در سرعت ۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ گردیدند. پس از این مرحله، لایه‌ی روغن دور ریخته شد و وزن رسوب باقیمانده اندازه‌گیری گردید و پایداری امولسیون بر حسب درصد از تقسیم حجم امولسیون باقی مانده به حجم کل ماده ضربدر ۱۰۰ محاسبه گردید (مونو و همکاران ۲۰۰۹).

### گرما وزن سنجی

جهت انجام آزمون از دستگاه گرما وزن سنجی TGA/DSC1 STARe (Mettler-Toledo GmdH) (Analytical, Switzerland) استفاده شد. مقدار ۱۰ میلی‌گرم از نمونه در ظرف‌های استیل ضد زنگ کوچک قرار داده شد و دما از ۲۵ درجه سانتی‌گراد تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد تحت گاز نیتروژن با اختلاف دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد جهت آزمون آب آزاد و آب باند شده، تنظیم گردید. به منظور ایجاد تعادل بین نمونه و محیط، حدود ۳۰ دقیقه نمونه‌ها در دمای اتاق نگهداری شد. نتایج به کمک کامپیوتر دستگاه ثبت و داده‌ها آنالیز و در نهایت بر روی یک نمودار ثبت گردید (فیتزجرالد ۲۰۰۵).

### ویژگی‌های رئولوژیکی

آزمون رئولوژیکی توسط دستگاه رئومتر (MCR301، Austria، Anton Paar) با استفاده از دو صفحه موازی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. در این آزمون فاصله صفحات ۱ میلی‌متر و محدوده آهنگ برش  $s^{-1}$  ۰/۴۵۰-۰/۵ بود که نتایج ویسکوزیته و تنش برشی متناظر با یکدیگر به صورت میانگین در این محدوده گزارش شده است (رهبری ۲۰۱۳).

### تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل نتایج در قالب طرح کاملاً تصادفی و تمامی آزمون‌ها در ۳ تکرار انجام شد. برای مقایسه‌ی میانگین تیمارها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین ثبات حرارتی در نمونه‌های سس سفید

Table 2- Results of comparison of average thermal stability in white sauce samples

| Treatment             | A                             | B                              | C                             | D                             | E                              | F                              | G                              |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Thermal stability (%) | 64.17 $\pm$ 3.00 <sup>a</sup> | 91.74 $\pm$ 5.00 <sup>cd</sup> | 95.10 $\pm$ 4.00 <sup>d</sup> | 78.36 $\pm$ 6.00 <sup>b</sup> | 84.48 $\pm$ 5.00 <sup>bc</sup> | 88.16 $\pm$ 3.00 <sup>cd</sup> | 91.54 $\pm$ 5.00 <sup>cd</sup> |

(50 g fat-0 ppm enzyme), B (37.50 g fat-100 ppm enzyme), C (37.50 g fat-200 ppm enzyme), D (25 g fat-100 ppm enzyme), E (25 g fat-200 ppm enzyme), F (0 g fat-100 ppm enzyme), G (0 g fat-200 ppm enzyme). The numbers in the table reported in the form of means  $\pm$  standard deviation. The same letters indicate no significant difference ( $p < 0.05$ ).

### پایداری فیزیکی

بر اساس جدول ۳ پایداری فیزیکی تمام تیمارها مانند پایداری حرارتی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش پیدا کرده است. تیمار G با کمترین مقدار چربی که حاوی ۲۰۰ ppm از آنزیم ترانس گلوتامیناز بوده است، دارای حداکثر میزان ( $95/91 \pm 4/00$ ) پایداری فیزیکی بوده است. همان گونه که گفته شد تیمار شاهد با ۵۰ گرم چربی و بدون آنزیم ترانس گلوتامیناز دارای حداقل درصد ( $70/85 \pm 4/00$ ) پایداری فیزیکی بوده است. در محصولات کم‌چرب با اضافه کردن عوامل قوام‌دهنده و

غلظت‌کننده مانند صمغ‌ها و پروتئین‌ها در فاز آبی حرکات قطرات امولسیون کاهش می‌یابد و مانع خامه‌ای شدن می‌شود (مونو و همکاران ۲۰۰۹). مانند پایداری حرارتی علت افزایش درصد پایداری فیزیکی در تمامی تیمارها نسبت به تیمار کنترل را می‌توان به اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز (ترکیب پروتئینی) در ایجاد اتصالات عرضی بین مولکول‌های پروتئینی و ایجاد شبکه منسجم و افزایش اصطکاک که مانع جدا شدن فازها است، نسبت داد (گاسپار و گیس فاوونی ۲۰۱۵).

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین پایداری بدنی در نمونه‌های سس سفید

Table 3- Results of comparison of average physical stability in white sauce samples

| Treatment              | A                             | B                              | C                              | D                             | E                              | F                              | G                             |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Physical Stability (%) | 70.85 $\pm$ 4.00 <sup>a</sup> | 90.81 $\pm$ 6.00 <sup>bc</sup> | 94.69 $\pm$ 5.00 <sup>bc</sup> | 85.31 $\pm$ 7.00 <sup>b</sup> | 91.48 $\pm$ 5.00 <sup>bc</sup> | 93.87 $\pm$ 4.00 <sup>bc</sup> | 95.91 $\pm$ 4.00 <sup>c</sup> |

A (50 g fat-0 ppm enzyme), B (37.50 g fat-100 ppm enzyme), C (37.50 g fat-200 ppm enzyme), D (25 g fat-100 ppm enzyme), E (25 g fat-200 ppm enzyme), F (0 g fat-100 ppm enzyme), G (0 g fat-200 ppm enzyme). The numbers in the table reported in the form of means  $\pm$  standard deviation. The same letters indicate no significant difference ( $p < 0.05$ ).

### آب آزاد و باند شده

در جدول ۴ درصد آب آزاد نشان داده شده است. تیمار D با ۲۵ گرم چربی حاوی ۱۰۰ ppm آنزیم ترانس گلوتامیناز بیشترین مقدار آب آزاد ( $87/05 \pm 5/00$ ) را داشته است. در تیمارهای C و E با افزایش مقدار آنزیم ترانس گلوتامیناز از ۱۰۰ ppm به ۲۰۰ میزان آب آزاد محصول کاهش یافته است. اما در تیمار G که دارای کمترین مقدار چربی بوده است، با افزایش درصد آنزیم از ۱۰۰ ppm به ۲۰۰ میزان آب آزاد محصول افزایش

پیدا کرده است. نوع امولسیون ایجاد شده با کاهش چربی و افزایش پروتئین متفاوت است که منجر به تأثیر متفاوتی بر عملکرد آنزیم ترانس گلوتامیناز در تیمارها شده است. پروتئین در سطح ذره روغن جذب شده و به دلیل داشتن بارهای مخالف و جاذبه الکترواستاتیک امولسیون پایداری ایجاد شده که در برابر تغییراتی مانند انجماد و از دست دادن آب مقاوم است (مونو و همکاران ۲۰۰۹؛ جونز ۱۹۹۶). در تیمار E با ۲۵ گرم چربی نسبت به تیمار شاهد مقدار آب باند شده ( $\Delta W_2$ ) کاهش

کمتری داشته است. اما در تیمارهای B و C با  $37/50$  گرم چربی و تیمارهای F و G با کمترین مقدار چربی آب باند شده ( $\Delta W_2$ ) در مقایسه با تیمار شاهد به میزان زیادی کاهش یافته است. علاوه بر این در تیمار C افزایش مقدار آنزیم ترانس گلوتامیناز از  $100 \text{ ppm}$  به  $200$  اثر زیادی بر روی آب باند شده ( $\Delta W_2$ ) نداشته است. در تیمار E با افزایش میزان آنزیم از  $100 \text{ ppm}$  به  $200$  مقدار آب باند شده ( $\Delta W_2$ ) اندکی کاهش یافته است. در تیمار G با افزایش آنزیم برخلاف تیمار E مقدار آب باند شده ( $\Delta W_2$ ) افزایش پیدا کرده است. به طور کلی تیمار  $50$  درصد جایگزینی حاوی  $100 \text{ ppm}$  آنزیم دارای حداکثر میزان ( $62/05 \pm 7/00$ ٪) آب باند شده ( $\Delta W_2$ ) و تیمار  $100$  درصد جایگزینی حاوی  $100$  از آنزیم ترانس گلوتامیناز دارای حداقل ( $23/05 \pm 28/00$ ٪) میزان آب باند شده ( $\Delta W_2$ ) بوده است. میزان آب باند شده ( $\Delta W_3$ ) که بیانگر تاثیر شدت حرارت بر تیمارها است، در همه تیمارها (به استثنای تیمار E) نسبت به تیمار شاهد کاهش داشته است. در تیمارهای E و G با افزایش مقدار آنزیم ترانس گلوتامیناز از  $100 \text{ ppm}$  به  $200$  میزان آب باند شده ( $\Delta W_3$ ) افزایش پیدا کرده است. اما در تیمار C با دو برابر شدن مقدار آنزیم در فرمولاسیون درصد آب باند شده ( $\Delta W_3$ ) کاهش یافته است. به طور کلی بعد از ۱ روز نگهداری در دمای اتاق تیمار E که حاوی  $100 \text{ ppm}$  از آنزیم ترانس گلوتامیناز بوده حداکثر آب باند شده ( $\Delta W_3$ ) ( $51/4 \pm 25/00$ ٪) را داشته است. همچنین در تیمار F حاوی  $100 \text{ ppm}$  از آنزیم دارای کمترین مقدار آب باند شده ( $\Delta W_3$ ) ( $26/7 \pm 47/00$ ٪) تعیین گردید. مکانیسم تاثیر آنزیم ترانس گلوتامیناز بر پروتئین‌ها پلیمریزاسیون است که منجر به تغییر در مولکول‌های آبریز پروتئین‌ها بوده است. از این رو خواص عملکردی آنزیم، اثر حلالیت، ایجاد ژل، امولسیفیکاسیون، ایجاد کف، ویسکوزیته و ظرفیت نگه‌داری آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد (کاملیزی گاسپار و

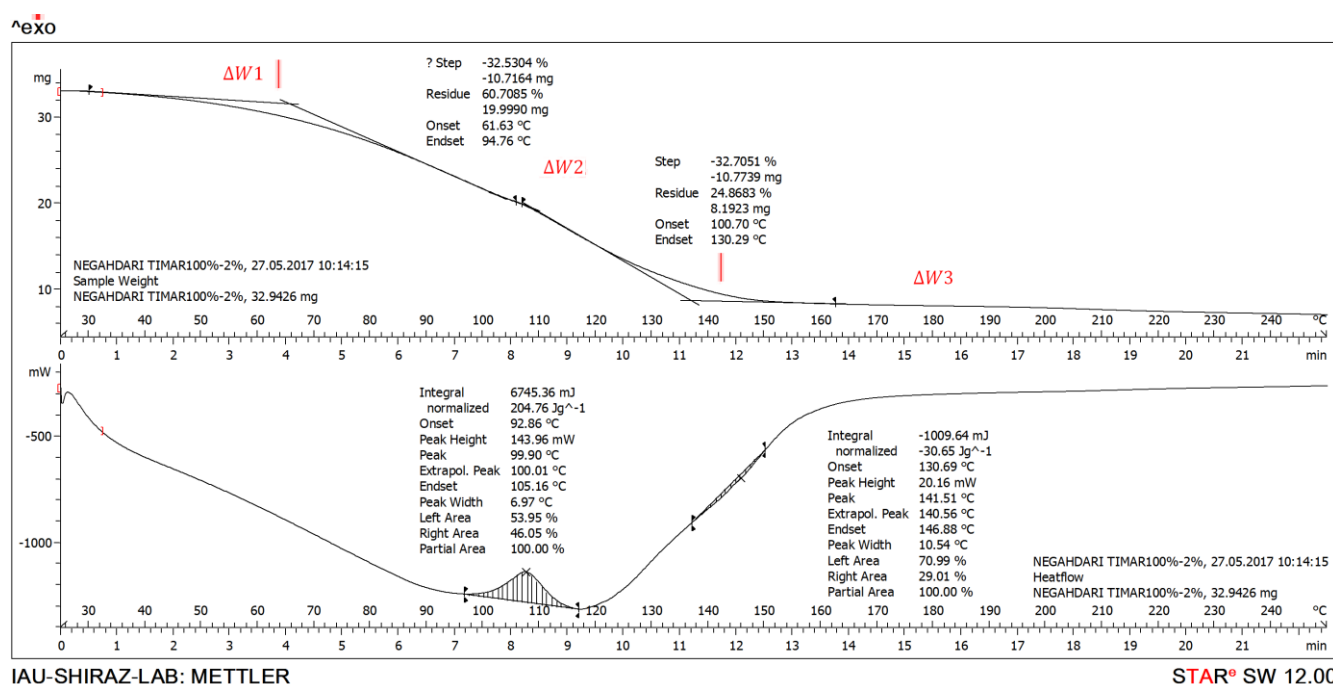
گیس فاوونی ۲۰۱۵). ایجاد اتصالات عرضی محدود عامل افزایش استحکام ژل و اتصالات عرضی شدید عامل تضعیف ژل پروتئینی (جوینده و همکاران ۲۰۱۵؛ ویلکس و سوئیژگود ۲۰۰۲). در این پژوهش درجه پلیمریزاسیون آنزیم ترانس گلوتامیناز و اتصالات عرضی به گونه‌ای بوده است که برخی تیمارها با شاهد تفاوت معنی‌داری داشته و برخی دیگر تفاوت معنی‌دار نداشته است. در تیمار G ( $100$ ٪ کاهش چربی و  $200$  آنزیم) نسبت به تیمار F ( $100$ ٪ کاهش چربی و  $100 \text{ ppm}$  آنزیم) درصد آنزیم بیشتر بوده است که باعث افزایش آب آزاد شده (تاثیر مثبت) است. با اضافه کردن آنزیم ترانس گلوتامیناز به مواد غذایی مانند ماست استحکام ژل افزایش می‌یابد و در عین حال منافذ ساختاری کوچک‌تر و بافت متراکم‌تر می‌شود. آب آزاد بیشتری در شبکه ژل مانند به دام می‌افتد (برین و روفوگری نژاد ۱۳۹۹؛ مون و هونگ ۲۰۰۳؛ موتوکی و سگورو ۱۹۹۸). نتیجه مشابهی توسط فریرا و همکاران (۲۰۱۲) در فرمولاسیون برگر تهیه شده از گوشت گاو با مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز گزارش شده است. در این پژوهش مشخص گردید که مقادیر بالای آنزیم از طریق اتصالات عرضی باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب (که رابطه مستقیمی با آب آزاد و باند شده دارد) در محصول نهایی می‌شود (فریرا و همکاران ۲۰۱۲). متناظر با آب آزاد برای هر تیمار آب باند شده گزارش شده است. با کاهش چربی و افزایش پروتئین، شبکه پروتئینی متراکم‌تر و قادر است در حجم معین مقدار بیشتری آب را باند کند (ایم و همکاران ۲۰۰۰). با افزایش پروتئین برهمکنش ذرات و باندهای پروتئینی در شبکه پروتئینی بیشتر شده و توانایی اتصال و نگه‌داشتن آب آزاد افزایش می‌یابد (آماتایاکول و همکاران ۲۰۰۶). در تیمار F با برهمکنش بیش از حد پروتئینی و نوع امولسیون ایجاد شده، نتیجه معکوس مشاهده شد. محدوده آب آزاد، باند شده اول و دوم در شکل ۱ مشخص شده است.

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین آب آزاد و محدود در نمونه‌های سس سفید

Table 4- Results of comparison of average free and bound water in white sauce samples

| Treatment | Free water( $\Delta w_1$ )    | Bound water( $\Delta w_2$ )   | Bound water ( $\Delta w_3$ )   |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| A         | 85.29 $\pm$ 4.00 <sup>b</sup> | 61.67 $\pm$ 6.00 <sup>b</sup> | 41.17 $\pm$ 5.00 <sup>bc</sup> |
| B         | 82.89 $\pm$ 7.00 <sup>b</sup> | 44.73 $\pm$ 5.00 <sup>a</sup> | 36.84 $\pm$ 4.00 <sup>b</sup>  |
| C         | 64.28 $\pm$ 4.00 <sup>a</sup> | 45.23 $\pm$ 4.00 <sup>a</sup> | 33.33 $\pm$ 6.00 <sup>ab</sup> |
| D         | 87.05 $\pm$ 5.00 <sup>b</sup> | 62.05 $\pm$ 7.00 <sup>b</sup> | 47.05 $\pm$ 5.00 <sup>cd</sup> |
| E         | 82.05 $\pm$ 4.00 <sup>b</sup> | 60.00 $\pm$ 4.00 <sup>b</sup> | 51.25 $\pm$ 4.00 <sup>d</sup>  |
| F         | 67.64 $\pm$ 6.00 <sup>a</sup> | 38.23 $\pm$ 5.00 <sup>a</sup> | 26.47 $\pm$ 7.00 <sup>a</sup>  |
| G         | 82.35 $\pm$ 5.00 <sup>b</sup> | 44.11 $\pm$ 4.00 <sup>a</sup> | 32.35 $\pm$ 4.00 <sup>ab</sup> |

A (50 g fat-0 ppm enzyme), B (37.50 g fat-100 ppm enzyme), C (37.50 g fat-200 ppm enzyme), D (25 g fat-100 ppm enzyme), E (25 g fat-200 ppm enzyme), F (0 g fat-100 ppm enzyme), G (0 g fat-200 ppm enzyme). The numbers in the table reported in the form of means  $\pm$  standard deviation. The same letters indicate no significant difference ( $p < 0.05$ ).



شکل ۱- نمونه‌ای از تجزیه و تحلیل گرماسنجی از تیمار G (۰ گرم چربی - آنزیم ۲۰۰ ppm)

Figure 1- An example from thermogravimetry analysis from treatment G (0 g fat - 200 ppm enzyme)

### ویسکوزیته و تنش برشی

برای بهبود ویژگی‌های بافتی و حسی مواد غذایی باید ویژگی‌های رئولوژیکی را مورد مطالعه قرار داد که در طراحی، مدل‌سازی و بررسی مواد غذایی اهمیت ویژه‌ای دارند. در این پژوهش میانگین ویسکوزیته و تنش برشی در سرعت‌های برشی متفاوت برای بررسی سس سفید تولیدی با فرمول جدید حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز گزارش شده است. بر اساس جدول ۵ نمونه B با ۲۵ درصد چربی کاهش یافته که حاوی ۱۰۰ ppm

از آنزیم ترانس گلوتامیناز بوده است، دارای بیشترین مقدار ( $8.6 \pm 1.9 / 0.8 \text{ pa.s}$ ) ویسکوزیته می‌باشد. در تیمارهای D, E, F و G با کاهش میزان چربی و افزایش درصد آنزیم میزان ویسکوزیته افزایش یافت. بر اساس نتایج بونیسچ و همکاران (۲۰۰۷) غلظت‌های بالای آنزیم ترانس گلوتامیناز در مقایسه با نمونه کنترل باعث افزایش درجه پلیمریزاسیون و در نهایت افزایش ویسکوزیته می‌شود. در این حالت ویسکوزیته می‌تواند تا ۱۰۰ برابر افزایش پیدا کند (بونیسچ و همکاران

(۲۰۰۷). همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، فقط در تیمار B با ۳۷/۵ گرم چربی که حاوی ۱۰۰ ppm از آنزیم ترانس گلوتامیناز و تیمارهای F و G که دارای کمترین مقدار چربی بودند با مقادیر ۱۰۰ و ۲۰۰ ppm از آنزیم، میزان تنش برشی نسبت به تیمار کنترل به صورت معنی‌داری افزایش داشته است. حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز باعث ایجاد پلی‌مرهایی با وزن مولکولی بالا از مونومرهای پروتئینی بدون ایجاد تغییر در خواص شیمیایی می‌شود، در نتیجه ویسکوزیته افزایش می‌یابد (اوزر و همکاران ۲۰۰۷). نتیجه مشابهی توسط اردلان و همکاران (۱۳۹۶) گزارش شده است (اردلان و همکاران ۱۳۹۶). اما در تیمارهای D و E با ۲۵ گرم چربی با افزودن ۱۰۰ یا ۲۰۰ ppm آنزیم تغییرات زیادی در تنش برشی ایجاد نشده است. بوروانکار و همکاران (۱۹۹۲) با انجام پژوهشی بر روی مارگارین به این نتیجه رسیدند، که کاهش میزان چربی در فرمولاسیون باعث کاهش تنش برشی در محصول نهایی می‌شود. آن‌ها علت این کاهش را به کم شدن ویسکوزیته محصول با کاهش درصد چربی نسبت دادند (بوروانکار و همکاران ۱۹۹۲؛ پورابراهیم و

همکاران ۱۳۹۹). نتایج پژوهش آنان با پژوهش حاضر مطابقت ندارد، دلیل این عدم تطابق را می‌توان به نوع محصول مختلف، شرایط نگهداری مختلف و استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز نسبت داد (بوروانکار و همکاران ۱۹۹۲). ویسکوزیته تیمار C و D و تنش برشی تیمار C نسبت به نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداده است و نسبت به سایر تیمارها مقدار کمتری داشت. در این سطح جایگزینی ترانس گلوتامیناز و کاهش مقدار چربی امولسیون پایداری در سس تشکیل نشده است. نیکزاده و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه بر سس مایونز گزارش کرده‌اند که با افزایش سطح تماس قطرات روغن نیروی اصطکاک بین ذرات زیاد می‌شود که ویسکوزیته را تحت تاثیر قرار می‌دهد (نیکزاده و همکاران ۲۰۱۲). نتیجه مشابهی توسط سلیمانپوری و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی که بر ماست بدون چربی داشتند گزارش گردیده است که نمونه‌های حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز از نظر ویسکوزیته نسبت به نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداده‌اند (سلیمانپوری و همکاران ۲۰۱۴).

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین ویسکوزیته و نیروی برشی در نمونه‌های سس سفید

Table 5- Results of comparison of average viscosity and shear stress in white sauce samples

| Treatment         | A                       | B                         | C                        | D                       | E                       | F                        | G                        |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Viscosity (pa/s)  | 1.95±1.47 <sup>a</sup>  | 8.89±6.58 <sup>b</sup>    | 1.7±1.23 <sup>a</sup>    | 2.94±2.00 <sup>a</sup>  | 3.96±2.88 <sup>a</sup>  | 8.79±6.68 <sup>b</sup>   | 8.88±7.90 <sup>b</sup>   |
| Shear stress (pa) | 36.15±1.85 <sup>a</sup> | 166.30±10.47 <sup>e</sup> | 32.46±10.47 <sup>a</sup> | 56.78±6.07 <sup>b</sup> | 74.69±5.35 <sup>c</sup> | 162.84±8.08 <sup>e</sup> | 153.30±8.47 <sup>d</sup> |

A (50 g fat-0 ppm enzyme), B (37.50 g fat-100 ppm enzyme), C (37.50 g fat-200 ppm enzyme), D (25 g fat-100 ppm enzyme), E (25 g fat-200 ppm enzyme), F (0 g fat-100 ppm enzyme), G (0 g fat-200 ppm enzyme). The numbers in the table reported in the form of means ± standard deviation. The same letters indicate no significant difference ( $p < 0.05$ ).

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی قابلیت استفاده در فرمولاسیون سس سفید کم کالری را دارد و باعث بهبود ویژگیهای فیزیکی شیمیایی،

پایداری و ویسکوزیته فرآورده می‌شود. بنابراین آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی می‌تواند به تولیدکنندگان سس به خصوص در تولید مخلوط‌هایی که چربی آنها کاهش یافته، پیشنهاد شود.



## منابع مورد استفاده

- اردلان ب، پوراحمد ر و مهدوی عادل ح، ۱۳۹۶. اثر آنزیم ترانس گلوتامیناز و صمغ لوبیای لوکاست بر ویژگیهای فیزیکی شیمیایی و حسی بستنی سنتی زعفرانی. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۷(۱)، ۱۳-۲۶.
- برین و و روفه گری نژاد ل، ۱۳۹۹. بهینه‌سازی تولید دوغ حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز با استفاده از کازئینات سدیم. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۰(۱)، ۴-۱.
- پورابراهیم ن، شریفی ا، ملکی م و دیواندری ن، ۱۳۹۹. اثر دما و هیدروکلئیدهای زانتان و گوار بر ویژگی‌های رئولوژیکی سس سالسا. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۳۰(۳)، ۷۷-۸۶.
- Amatayakul T, Sherkat F and Shah NP, 2006. Physical characteristics of set yoghurt made with altered casein to whey protein ratios and EPS-producing starter cultures at 9 and 14% total solids. *Food Hydrocolloid* 20: 314-324.
- Ando H, Adachi M, Umeda K, Matsuura A, Nonaka M and Uchio R, 1989. Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms. *Agricultural and Biological Chemistry* 53(10): 2613-2617.
- Arrese EL, Sorgentini DA, Wagner JR and Anon MC, 1991. Electrophoretic, solubility and functional properties of commercial soy protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39(6): 1029-1032.
- Bonisch MP, Huss M, Weitzl K and Kulozik U, 2007. Transglutaminase cross-linking of milk proteins and impact on yoghurt gel properties. *International Dairy Journal* 17(11): 1360-1371.
- Borwankar RP, Frye LA, Blaurock AE and Sasevich FJ, 1992. Rheological characterization of melting of margarines and table spreads. *Journal of Food Engineering* 16(1): 2. 55-74.
- Camolezi Gaspar AL and Goes-Favoni SP, 2015. Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins. *Food Chemistry* 171: 315-322.
- Fadaei Noghani V, Mofidi A and Zarei M, 2014. Effect of Using Microbial Transglutaminase as a Substitute for Part of Milk Protein Concentrate on the Selected Physicochemical and Sensory Properties of Spinach Yoghurt. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology* 9(3): 93-100.
- Ferreira MdaS, Marsico ET, Medeiros RJ, Pombo CR, Freitas MQ, Sao Clemente SC and Conte-junior CA, 2012. Comparison of physicochemical and sensorial characteristics of beef hamburgers elaborated with sodium chloride, poliphosphate and transglutaminase. *Revista Brasileira de Medicina Veterinaria* 34(1): 52-60.
- Fitzgerald M, 2005. Gelatinization Temperature by Calorimeter. International Rice Research Institute (Standard Operating Procedure 20). Differential scanning.
- Gaspar AL De and Góes-Favoni SP, 2015. Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review. *Food Chemistry* 171: 315-322.
- Góes-Favoni SP and Bueno FR, 2014. Microbial transglutaminase: General characteristics and performance in food processing technology. *Journal of Food Biotechnology* 28(1):1-24.
- IMM JY LIAN P and LEE CM, 2000. Gelation and Water Binding Properties of Transglutaminase-treated Skim Milk Powder. *Journal of Food Science* 65: 200-205.
- Jones SA, 1996. Hand book of fat replacer. Pp. 350. CRC. Florida. USA.
- Jooyandeh H, Mortazavi A, Farhang P and Samavati V, 2015. Physicochemical properties of Set-Style yoghurt as effected by microbial transglutaminase and milk solids contents. *Journal of Applied Environmental and Biological sciences* 4(11): 59-67.
- Koranand F, Joyandeh H, Barzegar H and Hojati M, 2016. Influence of time of microbial trans-glutaminase enzyme treatment on the characteristics of edible film based on protein isolate of whey. *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 47(3): 519-527.
- Liu H, Xu XM and Guo ShD, 2007. Rheological, texture and sensory properties of low fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT- Food Science and Technology* 40: 946-954.
- Maghsoudi SH, 2005. New technology of types of sauces. Pp. 139- 143, 202- 221. Tehran. Marz Danesh Press.
- Mahmood WA and Sebo NH, 2012. Improvement of yogurt properties by microbial transglutaminase. *Jordan Journal of Agricultural Sciences* 8(3): 333-342.

- Mun S, Kim YL, Kang CG, Park KH, Shim JY and Kim YR, 2009. Development of reduced-fat mayonnaise using 4  $\alpha$ GTase-modified rice starch and xanthan gum. *International Journal of Biological Macromolecules* 44(5): 400- 407.
- Moon JH and Hong YH, 2003. Electron microscopic property of transglutaminase added milk. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 23(4): 350-55.
- Motoki M and Seguro K, 1998. Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in Food Science and Technology* 9: 204-210.
- Nikzade V, MazaheriTehrani M and Saadatmand-Tarzjan M, 2012. Optimization of low cholesterol-low fat mayonnaise formulation. *Food Hydrocolloid* 28: 344-352.
- Ozer B Kirmaci HA, Oztekin S, Hayaloglu A and Atamer M, 2007. Incorporation of microbial transglutaminase into non-fat yogurt production. *International Dairy Journal* 17: 199-207.
- Rahbari M, Aalami M, Maghsoudlou Y and Kashaninejad M, 2013. Evaluation of physicochemical and sensory properties of mayonnaise containing wheat germ protein isolate and xanthan gum. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology* 2(1): 1-16.
- Rossa PN, Burin VM and Bordignon T, 2012. Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents. *LWT- Food Science and Technology* 48(2): 224-230.
- Seighalani FZB, Bakar J, Saari N and Khoddami A, 2017. Thermal and physicochemical properties of red tilapia (*Oreochromis niloticus*) surimi gel as affected by microbial transglutaminase. *Animal Production Science* 57: 993-1000.
- Shokrollahi F and Mirzadeh H, 1999. *Polymer Science and Technology*. Twelfth Year. No. 4.
- Soleymanpouri R, Zeynali F, Khosrowshahi asl A and Madadlou A, 2014. Influence of cross-linking between milk and soy proteins by transglutaminase on physicochemical properties of nonfat yoghurt. *Journal of Food Research* 24(2): 267-278.
- Trachoo N and Mistry VV, 1989. Application of ultrafiltered sweet butter milk and sweet buttermilk powder in the manufacture of nonfat and low fat yogurts. *Journal of Dairy Science* 81: 3163-3171.
- Wilcox CP and Swaisgood HE, 2002. Modification of the rheological properties of whey protein isolate through the use of an immobilized microbial transglutaminase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(20): 5546-5551.

## The effect of transglutaminase enzyme on the stability, thermogravimetry and rheological properties of low calorie white sauce

S Negahdari<sup>1</sup> and S Yazdanpanah<sup>\*1</sup>

Received: April 2, 2020

Accepted: March 9, 2021

<sup>1</sup>MSc Graduated Student of Food Science and Technology, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran

<sup>1\*</sup>Assistant Professor, Department Food Science and Technology, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran

\*Corresponding author: Email: yazdanpanah2004@gmail.com

**Introduction:** There are numerous concerns regarding dietary fat as an additional source of calories, saturated fatty acids, cholesterol, and the association between fat and incidence of cardiovascular disease, cancer and obesity. According to international organizations, total fat intake should be less than 30% of daily energy. While saturated fats are less than 10%, monounsaturated and polyunsaturated fats constitute at least 0.66 daily energy. According lyconsumers tend to use low-calorie and low- fat products such as mayonnaise, yogurt, and egg-free products, while the quality of these products has not changed and is similar to that of high-fat products. Fat substitutes should be able to create the desired mouthfeel. Therefore, in case of reduce fat percentage, it is necessary to use compounds that are capable of simulating fat properties. The use of fat substitutes in white sauce will play an important role in producing a high-calorie product. Fat alternatives are mainly based on carbohydrate and protein. Proteins are ideal compounds for simulating fat properties in foods. The transglutaminase enzyme, a protein with a molecular weight of 37, 368 Daltons, contains 331 amino acids that are classified in the group of transferase enzymes (EC 2.3.3.13). It is used to modify the functional properties of proteins in various foods. The function of this enzyme is to bind glutamine amino acid from one protein and lysine amino acid from another protein without adverse effect on biological access of lysine and nutritional value of consequently protein. This bond increases the strength of the two strands and thus increases the viscosity of the product. Due to the fact that the enzyme is of plant origin, it is very suitable for use in industry. Purpose: Due to the unique use of transglutaminase enzyme in improving the quality of products, the aim of this study is to evaluate the effect of this enzyme on the production of low fat white sauce and evaluation of physical (thermal and physical stability), rheological (viscosity and shear stress) properties and thermal gravimetric analysis (free and bonded water) are the product.

**Material and methods:** To make the sauces, first the flour was poured into the mixer with milk and after complete mixing (45 s) of microbial transglutaminase enzyme with activity 80 units/g was added gradually into the mixer and it was stirred well (one minute), then the butter was added to the mixture and stirring continued for 5 minutes and after emulsion formation and proper texture, the sauce samples were filled in glass containers. In the used treatments, the percentage of fat removal was equal to replacement percentage of milk and flour. The amount of fat reduction was calculated based on the amount of added butter. For this purpose, seven different treatments were produced with different amounts of fat (0, 25, 37.50 and 50 g) and enzyme (100 and 200 ppm). All tests were performed in 3 replications. Duncan test at 5% level was used to compare the mean of treatments. Data were analyzed using GraphPad Prism 5.0 software.

**Results and discussion:** Minimum and maximum viscosity values were observed in treatments containing 100 and 200 ppm enzymes with 37.50 g fat. High concentrations of transglutaminase enzyme increase the degree of polymerization and eventually the viscosity increase, compared to the control sample. In this case, the viscosity can increase up to 100 times. The maximum amount of shear stress (166.30 pa) was observed in the treatment containing 100 ppm enzyme with 37.50 g fat. The presence of the transglutaminase enzyme produces polymers with high molecular weight of protein monomers without altering their chemical properties, as a result, the viscosity increases. Reducing the amount of fat in the formulation reduces the shear stress in the final product. The reason for this decrease is attributable to decrease in the viscosity of the product with decrease in fat percentage. By increasing contact level of oil drop, the force of friction between the particles increases, which affects the viscosity. The highest amount of thermal stability (95.10%) and physical stability (95.91%) was obtained in treatments containing 200 ppm enzyme with 37.50 and 0.00 g fat. In thermal and physical stability, cause of increasing percentage of stability in all treatments compared to the control treatment can be attributed to the effect of the transglutaminase enzyme (Protein compound) in cross-linking between protein molecules and creating a coherent network lattice and increased friction that is prevent of phases separation. According to Stoke's law, with increasing viscosity of continuous phase, speed of phase separation will be slower and the emulsion more stable, if the viscosity decreases, the particles move more and leaking water increases. The mechanism of the effect of transglutaminase enzyme on proteins is polymerization, which has led to changes in the hydrophobic molecules of the proteins. Therefore, it effects on the functional properties of the enzyme, the solubility effect, gel formation, emulsification, foaming, viscosity and water holding capacity. The treatment containing 200 ppm enzyme with 37.50 g fat had the lowest amount (64.28%) free water. Treatment with 25 g fat containing 100 ppm transglutaminase enzyme had the highest amount of free water. Adding transglutaminase enzyme to foods increases the gel strength and at the same time, the pores become smaller and texture become denser. More free water is trapped in the gel- like network. Like free water for each treatment, bonded water is reported. But in the 100 and 200 ppm treatments with 37.50 g fat and the 100 and 200 ppm treatments with the lowest fat content, the water content of the bonded water was significantly reduced. Compared to the control treatment, the bonded water decreased significantly. By reducing fat and increasing protein, the protein network is denser and able to bind more water in a given volume.

**Conclusion:** This study showed that, according to the microbial transglutaminase enzyme has plant origin, it has great potential for practical uses in industry and it can be suggested to sauce manufacturers, especially in the production of mixtures whose fat is reduced, such as formulation of low-calorie white sauce, with maintaining the desired properties (physicochemical, stability and viscosity).

**Keywords:** Low calorie, Transglutaminase enzyme, White Sauce