مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی تأثیر تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز میکروبی و افزودن ژلاتین و کاراگینان بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماست قالبی کم‌چرب

لیلی بختیاری[۱]، حسین جوینده[۲*]

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۷

تاریخ داوری: ۱۴۰۵/۰۱/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۸

کلمات کلیدی:

فراورده‌های لبنی کم‌چرب،

هیدروکلوئید،

سینرزیس،

ویسکوزیته،

زمان نگهداری.

DOI: 10.48311/fsct.2026.118974.83035

* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnrukh.ac.ir

چکیده

چاقی احتمال ابتلا به بسیاری از بیماری‌های مهم همانند دیابت نوع ۲، مشکلات قلبی عروقی، فشار خون بالا و برخی سرطان‌ها را افزایش می‌دهد. بنابراین مصرف فراورده‌های لبنی کم‌چرب منجمله ماست کم‌چرب به‌دلیل کالری و چربی اشباع‌شدهٔ کمتر مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار گرفته است. درهرحال، مهمترین مشکل تولید این محصولات عطر و طعم و بافت ضعیف‌تر نسبت به فراورده‌های مشابه پرچرب است که احتمالاً می‌توان با افزودن هیدروکلوئیدهایی مانند ژلاتین و کاراگینان و همچنین تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (TG) میکروبی این مشکلات را برطرف نمود و امکان تولید محصولات سالم‌تر را بدون به خطر انداختن مقبولیت مصرف‌کننده فراهم کرد. در این پژوهش، تأثیر تیمار آنزیمی TG (در دو سطح ۰ و ۰/۰۱۵ درصد) و دو هیدروکلوئید ژلاتین (سطوح ۰، ۰/۵ و ۱ درصد) و کاراگینان (۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ درصد) بر خواص فیزیکوشیمیایی ماست کم‌چرب قالبی طی مدت نگهداری بررسی شد. یافته‌ها حاکی از آن بود که هر ۳ متغیر مورد بررسی به شکل معنی‌داری سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مورد بررسی گردیدند و ضمن کاهش مقدار سینرزیس در نمونه‌های ماست کم‌چرب، ویسکوزیتهٔ محصول را افزایش دادند. به‌علاوه، با گذشت مدت زمان نگهداری نیز این ویژگی‌ها بهبود یافت. براساس نتایج این تحقیق مشخص گردید که بهترین نمونه با استفاده از تیمار آنزیمی TG (۰/۰۱۵ درصد) و به‌کارگیری ۰/۵ درصد ژلاتین و ۰/۰۲ درصد کاراگینان به‌دست می‌آید.

۱-مقدمه

ماست، یک محصول تخمیر شده لبنی است که از تخمیر شیر توسط دو باکتری *استرپتوکوکوس ترموفیلوس*[1] و *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیرگونه *بولگاریکوس*[2] به‌دست می‌آید [۱ و ۲]. شیرهای تخمیری نظیر ماست برخلاف پنیرهای آنزیمی که در تولید آن‌ها از آنزیم رنین استفاده می‌شود، حالت قوام ایجاد شده در آن‌ها ناشی از اسیدی شدن شیر توسط باکتری‌های اسیدلاکتیک است. ماست رایج‌ترین و پرمصرف‌ترین محصول لبنی تخمیری است [۳]. درهرحال، متداول‌ترین نقص در بافت که منجر به عدم‌پذیرش این فرآورده نزد مصرف‌کننده می‌شود، آب‌اندازی یا سینرزیس[3] است [٤]. به‌علاوه، سفتی، ویسکوزیته (گرانروی یا لزجت) و خامه‌ای بودن از جمله فاکتورهای اساسی مرتبط با بافت ماست می‌باشند [٥]. پدیده آب‌اندازی در ماست، مستقیما به مواردی مانند کیفیت شیر استارتر مورد استفاده و بی‌دقتی در عمل آوری شیر مانند pH بسیار پائین و عدم کنترل درجه حرارت در مدت گرمخانه‌گذاری بستگی دارد. این مشکلات سبب باعث بهم خوردن شبکه میسل-های پروتئینی می‌شود [۳]. طبق تعریف فدراسیون بین المللی شیر و فرآورده های آن (IDF[4])، شیرهای تخمیری، فرآورده‌هایی هستند که از تخمیر شیر به وسیله فعالیت باکتری‌های اسید لاکتیک تولید شوند [٦].

هیدروکلوئیدها موادی هستند که می‌توانند مقدار قابل توجهی آب را در ساختار خود حفظ کنند. هرچند از این ترکیبات معمولاً در مقادیر کم و با غلظت‌های کمتر از ۱ درصد استفاده می‌شود، اما کاربرد آن‌ها به‌دلیل توانایی در تنظیم رئولوژی و بافت سیستم‌های غذایی بسیار گسترده است. مهمترین ویژگی‌های کاربردی آنها عبارتند از: قوام دهندگی (افزایش ویسکوزیته)، ژل دهندگی، پایدارکنندگی برای سیستمهای کلوئیدیِ غـذایی، بازدارندگی در برابر جذب روغن‌ها، امولسیون کنندگی، تشکیل دهنده فیلم و پوشـش‌های خوراکی، جلوگیری از آب انداختن، جاذب‌الرطوبه و کاهش‌دهنده تحرک آب [۷]. هیدروکلوئیدها مجموعه‌ای از مواد ماکرومولکولی آبدوست هستند که عمدتاً از متابولیسم میکروبی (مانند صمغ زانتان)، دانه‌های گیاهی (مانند صمغ گوار و شاخه‌های لوبیای آکاسیا)، ترشحات درختان (مانند صمغ عربی)، پوست میوه‌ها (مانند پکتین)، کلوئیدهای حیوانی (مانند ژلاتین)، جلبک‌ها (مانند کاراگینان و آلژینات)، مشتقات سلولز و نشاسته اصلاح‌شده منشأ می‌گیرند [۸]. هیدروکلوئیدها قادرند با جـذب و بانـدکردن آب و ایجاد ویژگی‌های بافت‌دهندگی به‌عنوان جایگزین چربی در فرآورده‌های کم‌چرب به‌کار روند. هیدروکلوئیـدها به ایجاد یک ساختار ژله‌ای شبه چربی کمک می‌کنند. ایـن ویژگـی بـه طور گسترده‌ای در تولید فرآورده‌های لبنی و محصولات گوشتی که میـزان چربی آنها کاهش یافته است مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹].

ژلاتین یکی از مهمترین هیدروکلوئیدهای غذایی است که از کلمه لاتین ژلاتوس[5] به معنی «سفت/منجمد» گرفته شده است و از منابع مختلف حیوانی با هیدرولیز جزئی/دناتوراسیون حرارتی به دست می‌آید. نمک‌ها و pHهای مختلف می‌توانند بر برهمکنش‌های الکترواستاتیک در ژل پلی‌الکترولیت ژلاتینی تأثیر بگذارند، زیرا این ژل سرشار از پروتئین دارای چاه‌های کاتیونی و گروه‌های آنیونی است [۱۰]. ژلاتین یکی از محبوب ترین پلیمرهای طبیعی است که به دلیل خصوصیات منحصر به فرد به میزان وسیعی در صنایع غذایی مورد استفاده می‌گیرد و می‌تواند به عنوان یک جایگزین مناسب برای چربی ماست مطرح باشد [۱۱].

کاراگینان هیدروکلوئید به دست آمده از جلبک قرمز دریایی خوراکی است و به دلیل خواص امولسیفایری، ژل کنندگی، تثبیت کف، قوام دهندگی و بهبود بافت به کار می‌رود [۱۲]. سه نوع کاراگینان به نام‌های کاپا، لامبدا و آیوتاکاراگینان وجود دارد. به‌طور کلی، کاراگینان شامل واحدهای تکرارشونده گالاکتوز و انیدروگالاکتوز است که توسط پیوندهای گلیکوزیدی به هم متصل

1 - *Streptococcus thermophilus*

2 - *Lactobacillus bulgaricus*

3 - Syneresis

4 - Internation Dairy Federation

5- gelatos

شده‌اند [۱۳]. خواص خاص آن، مانند توانایی ژل شدن، با درجه سولفاته شدن و چیدمان این واحدها تعیین می‌شود. کاراگینان می‌تواند ژل‌های قابل برگشتی (از طریق حرارت) تشکیل دهد که قدرت آن و دمای ژل‌شدن به کاتیون‌های خاص پتاسیم و آمونیوم بستگی دارد [۱٤].

علاوه بر این، آنزیم‌های مختلفی در صنعت غذا برای بهبود ویژگی‌های کیفی، ارزش غذایی و راندمان تولید محصولات مختلف به کار می‌روند [۱۷-۱۵]. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز (TG) میکروبی (EC 2.3.2.13) جزو آنزیم‌های ترانسفراز است. این آنزیم که توسط جنس استرپتومایسس تولید می‌شود دارای وزن مولکولی ۳۸ کیلو دلتون و حاوی ۳۳۱ اسید آمینه می‌باشد [۱۸]. این آنزیم به‌ویژه از گونه باکتریایی *استرپتومایسس موبارانسیس*[٦] استخراج و خالص سازی می‌شود. آنزیم TG می‌تواند بین اسید آمینه گلوتامین از یک پروتئین و لایزین از پروتئین دیگر اتصالات عرضی ایجاد کند [۱۹]. پلیمریزاسیون و انعقاد (ژل شدن) پروتئین غذایی با آنزیم TG، ممکن است کیفیت بسیاری از غذاها را بوسیلهٔ اصلاح خواص فیزیکوشیمیایی، از جمله میزان چسبندگی، انعقاد (ژل شدن)، امولسیون‌سازی و شکل‌دهی تحت تأثیر قرار دهد [۲۰].

تاکنون تحقیقات مختلفی در مورد تأثیر آنزیم TG و هیدروکلوئید یا اثر هر دو عامل به‌طور همزمان بر کمیت و کیفیت محصولات مختلف لبنی انجام شده است. بهبود کیفیت دسرهای لبنی [۲۱ و ۲۲]، ماست قالبی [۲۳ و ۲٤]، ماست همزده [۱٦ و ۲۵]، ماست چکیده [۳ و ۲٦]، ماست شبه‌لبنی [۲۷ و ۲۸]، بستنی [۲ و ۲۰]، کفیر [۲۹ و ۳۰]، پنیر فرآپالوده [۳۱ و ۳۲] و پنیر سنتی [۳۳ و ۳٤] از جملهٔ این محصولاتند. یدملت و همکاران در تحقیقی تأثیر افزودن صمغ‌های فارسی و دانه بالنگو شیرازی را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست همزده کم‌چرب مورد بررسی قرار دادند [۳۵]. ماست‌های تولیدی در طول دوره نگهداری (روزهای ۱، ۱۱ و ۲۱) با ماست همزده کم‌چرب به عنوان نمونه شاهد مقایسه گردیدند. نتایج این پژوهش نشان داد افزودن هر دو صمغ موجب افزایش قابل توجه اسیدیته نمونه‌های ماست شد ($p<0.05$)، درحالی‌که تأثیر معنی‌داری بر pH نمونه‌ها نداشت. با افزایش غلظت صمغ‌ها (بویژه صمغ فارسی) و گذشت دوره نگهداری، مقدار سینرسیس نمونه‌های ماست به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. ترابی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که پنیر بهینهٔ فرآپالوده تیمار شده با TG، در مقایسه با پنیرهای پروبیوتیک (بدون TG) و نمونهٔ کنترل تجاری (بدون TG و اینولین به عنوان پری‌بیوتیک) از امتیاز بافت بالاتری در طول ٦۰ روز دوره نگهداری برخوردار بود [۳٦]. آریامنش و همکاران (۱٤۰۳) امکان بهبود ویژگی‌های ماست همزدهٔ کم‌چرب را با استفاده از تیمار آنزیم میکروبی ترانس‌گلوتامیناز و صمغ فارسی بررسی کردند [۳۷]. براساس نتایج این تحقیق، افزودن صمغ و آنزیم موجب کاهش اسیدیته و سینرزیس به‌شکل معنی‌دار شد. زمان نگهداری هم سبب کاهش سینرزیس و افزایش اسیدیته ماست شد. بنابر نتایج این تحقیق مشخص شد که با به‌کارگیری تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (۰/۰۱۵٪) و افزودن صمغ فارسی (به‌خصوص ۰/۲٪)، می‌توان ماست کم‌چرب همزده‌ای با خصوصیات فیزیکوشیمیایی قابل قبول تولید نمود و کیفیت ماست کم‌چرب همزده را ارتقا داد. همان‌گونه که گفته شد، هرچند تحقیقات مختلفی در مورد استفاده از آنزیم TG و هیدروکلوئیدهای متنوع در تولید ماست انجام پذیرفته است، اما تاکنون تحقیقی راجع به بهبود خواص ماست قالبی با استفاده از آنزیم TG، و هیدروکلوئیدهای ژلاتین و کاراگینان انجام نشده است. بنابراین، این تحقیق به منظور بررسی تأثیر متغیرهای مذکور بر کیفیت ماست قالبی طی مدت ۱٤ روز نگهداری انجام پذیرفت.

[٦] *Streptomyces mobaraensis*-

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد مورد استفاده

نمونه‌های ماست کم‌چرب قالبی با استفاده از شیر پاستوریزهٔ کم‌چرب ۱/۵ درصد چربی (شرکت ارژن، شیراز) تهیه شدند. در این پژوهش از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (TG) با میانگین فعالیت ۱۰۰ واحد در هر گرم استخراج شده از میکروب *استرپتوورتیسیلیوم موبارانیز*[۷] (شرکت آجینتوموتو[۸]، فرانسه)، پودر شیر خشک بدون چربی (شرکت لبنی پگاه خراسان)، ژلاتین (مرک، آلمان) و کاپا-کاراگینان با نام تجاری ژنوژل (شرکت سی‌پی‌کلکو[۹]، دانمارک) استفاده شد. همچنین از آغازگر ماست (YoFlex-Express 1.0، کریستین هانسن دانمارک) از نوع DVS و حاوی باکتری‌های *لاکتوباسیلوس دلبروکی* زیرگونه *بولگاریکوس* و *استرپتوکوکوس ترموفیلوس* استفاده شد. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق که از درجه خلوص بالا برخوردار بودند از شرکت مرک (آلمان) خریداری شدند.

۲-۲- روش تهیه نمونه‌های ماست قالبی

نمونه‌های ماست قالبی کم‌چرب (۱/۵درصد چربی) با استناد به روش جوینده و همکاران [۲۳] تولید شدند. نمونه‌های ماست در شرکت تولیدی ارژن واقع در شهرک صنعتی شیراز با استفاده از شیر تازهٔ کم چرب (اسیدیتهٔ ۰/۲± ۱۴/۵ درجهٔ دورنیک) تهیه شدند. در نمونه‌های ماست حاوی هیدروکلوئید کاراگینان (C)، این هیدروکوئید با نسبت‌های مختلف و در ٤ سطح ۰، ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ درصد (w/w) قبل از فرایند حرارتی به شیر اضافه شد. در نمونه‌های حاوی هیدروکلوئید ژلاتین (G) نیز ابتدا پودر ژلاتین در سه سطح مختلف ۰، ۰/۵ و ۱ درصد (w/w) به شیر با دمای ۵۰ °C اضافه و مخلوط شد و درون حمام آب گرم در همان دما به طور کامل هیدراته شد. سپس، نمونه‌های شیر حاوی مقادیر مختلف هیدروکلوئید توسط هموژنایزر آزمایشگاهی در فشار حدود ۱۵۰ بار هموژن شدند. در ادامه، شیر در دمای ۹۰ °C به مدت ۱۰ دقیقه تحت فرایند حرارتی قرار گرفت و سپس تا دمای تلقیح (٤٥ °C) سرد گشت. در نمونه‌های حاوی آنزیم، تیمار آنزیمی همزمان با تخمیر انجام شد؛ بدین‌ترتیب که پس از افزودن و مخلوط کردن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز (TG) به شیر، آغازگر ماست به میزان ۰/۰۵ درصد به شیر اضافه شد. پس از تلقیح، به‌سرعت شیر در ظروف کوچک ۱۰۰ سی‌سی توزیع شد. سپس ظروف به گرمخانه منتقل و در دمای ٤۳°C به مدت حدود ٤ ساعت (تا رسیدن pH به ٤/۵) گرمخانه‌گذاری شدند. در ادامه نمونه‌های ماست به یخچال (دمای ۷ °C) منتقل شدند. نمونه‌های ماست تا انجام آزمون‌ها (فیزیکوشیمیایی و ارزیابی حسی) طی مدت ١٤ روز (زمان‌های ۱، ۷ و ١٤ روز) در یخچال نگهداری شدند. تولید نمونه‌های ماست و همچنین آزمون‌های مربوطه همگی در سه تکرار انجام شدند. نمونه ماست فاقد آنزیم و هیدروکلوئیدهای مورد بررسی به‌عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است سطوح انتخابی آنزیم و هر یک از دو هیدروکلوئید مورد استفاده در این تحقیق بر اساس آزمون‌های مقدماتی تعیین گردید.

۲-۳- ارزیابی فیزیکوشیمیایی نمونه‌های ماست

۲-۳-۱- اندازه‌گیری pH و اسیدیته

pH و اسیدیتهٔ نمونه‌های ماست با استفاده از روش AOAC [۳۸] اندازه‌گیری شدند. برای انجام این آزمون، ابتدا pHمتر

7- Streptoverticillium mobaraense

8- Ajintomoto

9- CP Kelco

توسط بافرهای ۷ و ٤ کالیبره شد و سپس پروب دستگاه کاملا درون نمونه قرار داده شد و پس از ثابت شدن عدد دستگاه، مقدار pH خوانده و یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری اسیدیته از روش تیتراسیون استفاده شد. در این روش به نسبت ۱:۱ از نمونه و آب مقطر درون یک بشر شیشه‌ای ریخته شد و سپس ۲ تا ۳ قطره معرف فنل فتالئین به عنوان شناساگر به آن اضافه شد. مخلوط به وسیله محلول سود ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ صورتی کم رنگ تیتر شد. حجم سود مصرفی یادداشت و به منظور محاسبه درصد اسیدیته بر حسب اسید لاکتیک از معادلهٔ (۱) استفاده شد.

$$Acidity\ (\%) = \frac{N \times 0.09 \times 100}{M}$$ معادلهٔ (۱)

N: میلی لیتر سود مصرفی؛ M: وزن نمونه اولیه

۲-۳-۲- اندازه‌گیری سینرزیس

جهت اندازه گیری میزان آب اندازی یا سینرزیس از روش مؤمن‌زاده و همکاران [٤] با کمی تغییر استفاده شد. ۳۰ تا ٤۰ گرم از نمونه ماست در لوله های سانتریفیوژ وزن شد و سپس لوله ها در سانتریفیوژ یخچال‌دار ((Eppendorf، مدل R-5804، آلمان) با شتاب ۲۲۲ ×g به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد سانتریفیوژ شدند. بعد از سانتریفیوژ کردن، سرم آزاد شده که در بالای لوله آزمایش (لوله مخصوص سانتریفیوژ) قرار دارد، در یک ارلن ریخته شده و وزن مایع شفاف اندازه گیری شد. با استفاده از معادلهٔ (۲) و از تقسیم میزان سرم آزاد شده به میزان ماست اولیه، میزان آب اندازی به صورت درصد محاسبه گردید.

$$Syneresis\ (\%) = \frac{Amount\ of\ seperated\ whey}{Amount\ of\ yogurt\ sample} \times 100$$
معادلهٔ (۲)

٤-۲- اندازه‌گیری ویسکوزیتهٔ ظاهری

ویسکوزیتهٔ نمونه‌های ماست، توسط ویسکومتر بروکفیلد (مدل +DVII، آمریکا) با استناد به روش بیرمی و همکاران [۲۹] با کمی تغییرات اندازه گیری گردید، در این آزمون، با توجه به ویسکوزیته محصول و دامنه ویسکوزیته در نمونه‌های مختلف، اسپیندل L4 به عنوان اسپیندل مناسب انتخاب شد. ویسکوزیته نمونه‌ها طی مدت ١٤ روز نگهداری در شرایط یکسان با دمای ٤ درجه سانتیگراد و سرعت ۳۰ دور در دقیقه پس از گذشت ۳۰ ثانیه از چرخش اسپیندل اندازه‌گیری شد.

۵-۲- ارزیابی حسی

پذیرش کلی نمونه‌های ماست با توجه به ویژگی‌های حسی رنگ، آروما، طعم و بافت توسط یک گروه ۲۰ نفره ارزیاب مورد بررسی قرار گرفت و نمونه‌ها از طریق تست هدونیک ۹ نقطه‌ای با هم مقایسه شدند. در این آزمون، نمونه‌ها به شکل تصادفی به همراه فرم نظرخواهی جهت ارزیابی حسی مذکور به افراد ارزیاب داده شد و آن‌ها نظر خود را به صورت امتیازدهی از ۰ تا ۹ به نمونه‌ها ابراز کردند. قبل از ارزیابی، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه از یخچال خارج و در دمای محیط نگهداری شد تا دمای تمامی نمونه‌ها در حین ارزیابی یکسان بوده و تأثیری بر نتایج حسی نگذارد.

٦-۲- آنالیز آماری

در این مطالعه، با توجه به ۳ متغیّر صمغ کاراگینان (٤ سطح)، ژلاتین (۳ سطح) و آنزیم TG (۲ سطح)، تعداد ٢٤ تیمار ماست قالبی کم‌چرب تولید شد. تمامی آزمون‌ها در ۳ دورهٔ نگهداری ۱، ۷ و ١٤ روز در ۳ تکرار انجام شد. میانگین نتایج توسط نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۰ با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تجزیه و تحلیل شدند. از آنالیز یک طرفه[10] برای مقایسه میانگین ٢٤ تیمار این تحقیق بدون درنظر گرفتن اثر زمان نگهداری استفاده شد.

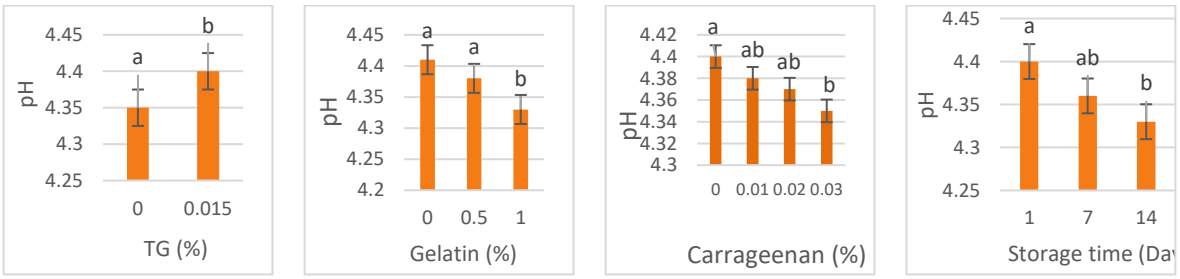
10 -One way analysis

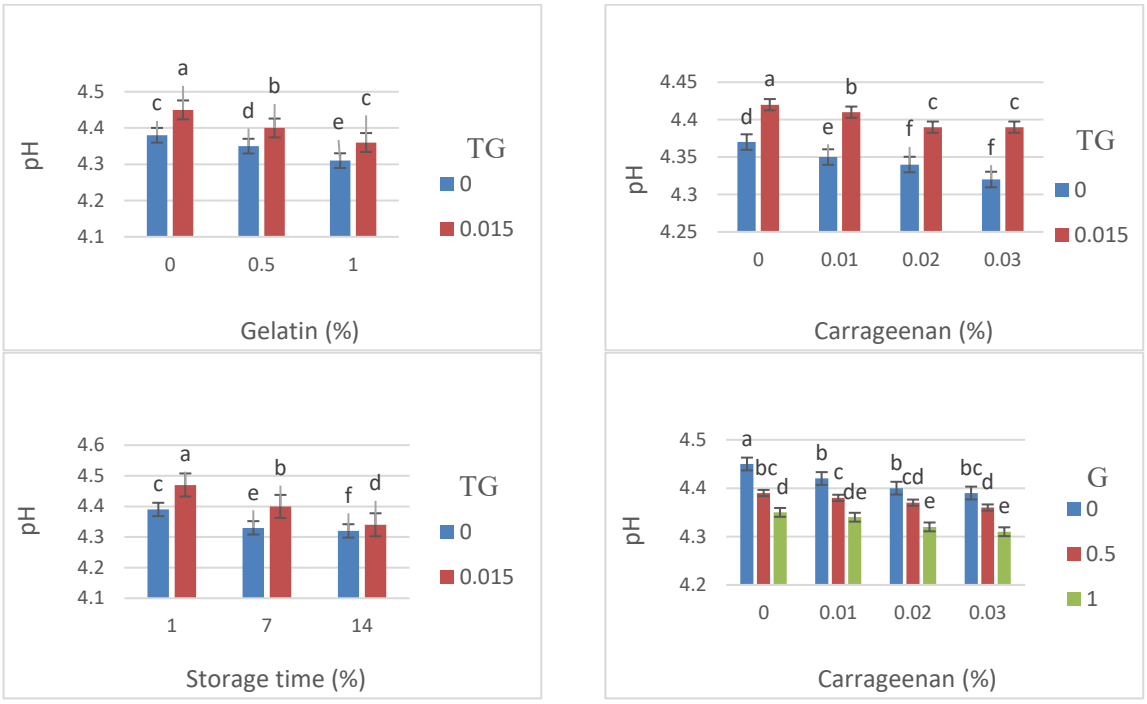
۳- نتایج و بحث

۳-۱- pH و اسیدیتهٔ ماست

نتایج این تحقیق نشان داد که تمامی متغیرهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر pH و اسیدیتهٔ نمونه‌های ماست داشتند. همانطور که در نمودارهای شکل ۱ می‌توان مشاهده نمود، با تیمار آنزیمی، pH نمونه‌های ماست نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌داری یافت ($p< ۰/۰۰۱$). همچنین تغییرات اسیدیته نمونه‌ها (شکل ۲) نشان داد با افزایش درصد آنزیم، اسیدیته به‌طور معنی‌داری از ۰/۸۸ درصد اسیدلاکتیک (نمونه شاهد) به ۰/۸۲درصد کاهش یافت. احتمالا علت افزایش pH و کاهش اسیدیتهٔ نمونه‌های ماست، به برقراری پیوندهای کووالانسی برون و درون مولکولی میان پروتئین‌ها توسط آنزیم TG مربوط می‌شود. با برقراری اتصالات عرضی، پپتیدها و اسیدهای آمینه مورد نیاز برای رشد میکروارگانیسم‌ها توسط آنزیم TG به دام افتاده و از دسترس آن‌ها خارج می‌گردد. همین امر باعث کند شدن فعالیت میکروبی و تا حدودی افزایش pH و کاهش اسیدیته می‌گردد [۳۷ و ۳۹]. آپرودو و همکاران [۴۰]، در پژوهشی بیان کردند pH نمونه‌های تیمار شده با آنزیم بالاتر از نمونه کنترل بود. در نتیجه زمان تخمیر در نمونه‌های حاوی آنزیم به‌منظور رسیدن به pH نهایی بالاتر بود و این زمان با غلظت آنزیم رابطه مستقیم داشت. مطابق با pH، اسیدیته آن‌ها نیز تحت تأثیر قرار گرفت. همچنین این نتایج با نتایج اوزر و همکاران، مطابقت داشت [۴۱]. درهرحال نتایج تحقیقات وروبولسکا و همکاران نشان داد، آنزیم TG اثری بر میزان pH محصول تولیدی ندارد و هیچ گونه تغییر معنی‌داری در میزان تولید اسید ایجاد نمی‌کند [۴۲].

مطابق شکل ۱، با افزایش درصد ژلاتین، pH نمونه‌های ماست کاهش معنی‌داری یافت ($p< ۰/۰۰۱$)؛ به‌طوری که نمونه شاهد با ۴/۴۱ دارای بیشترین و نمونه دارای ۱ درصد ژلاتین با ۴/۳۳ دارای کمترین مقدار pH بود. همچنین با توجه به شکل ۲، تغییرات اسیدیته نمونه‌ها نشان داد با افزایش درصد ژلاتین، اسیدیته به‌طور معنی‌داری از ۰/۸۲ درصد اسیدلاکتیک (نمونه شاهد) به ۰/۸۸درصد افزایش یافت. احتمالاً کاهش میزان pH به دلیل فعالیت بهتر باکتری‌های استارتر در حضور ژلاتین (به عنوان منبع کربن یا مادهٔ خشک) و در نتیجه تولید بیشتر اسید است. سوپاویتیت‌پاتانا و همکاران [۴۳] مطابق نتایج این تحقیق گزارش کردند که با افزایش غلظت ژلاتین، اسیدیته محصول به طور معنی داری افزایش یافت. به‌علاوه، با افزایش کاراگینان، pH نمونه‌های ماست کاهش معنی‌داری یافت ($p< ۰/۰۰۱$). به‌طوری که نمونه شاهد با ۴/۴۰ دارای بیشترین و نمونه دارای ۰/۳ درصد کاراگینان با ۴/۳۵ دارای کمترین مقدار pH بود. همچنین تغییرات اسیدیته نمونه‌ها نشان داد با افزایش درصد ژلاتین، اسیدیته به‌طور معنی‌داری از ۰/۸۴ درصد اسیدلاکتیک (نمونه شاهد) به ۰/۸۷ درصد افزایش یافت. نتایج میلانی و کوچکی [۴۴] در مشابهت با نتایج حاضر نشان داد که افزودن صمغ گوار به ماست منجمد باعث افزایش در اسیدیته و کاهش pH می‌گردد.





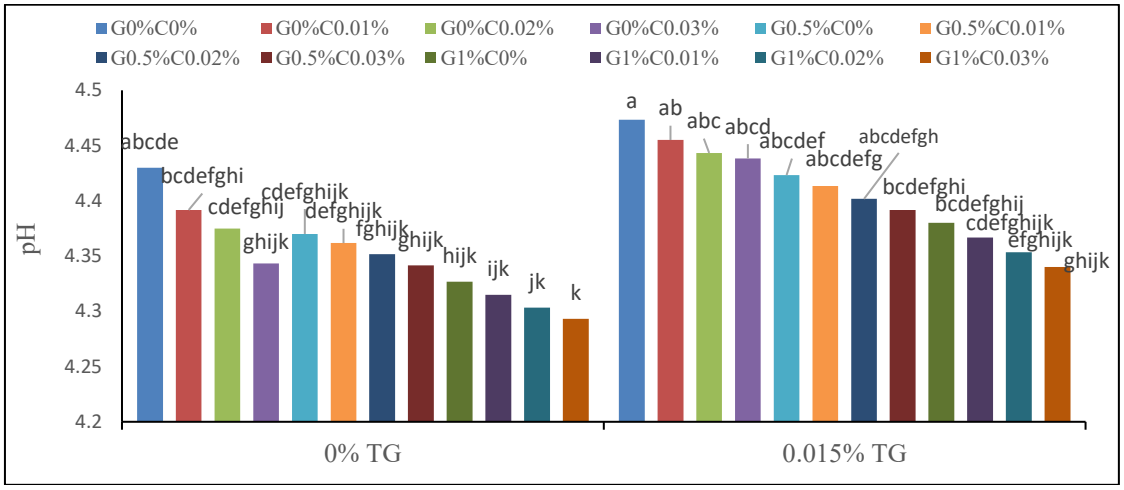


Figure 1. Main and interaction effects of transglutaminase enzyme (TG), gelatin (G) and carrageenan (C) on pH of manufactured yogurt samples during the storage period. Different lowercase letters indicate significant differences at the 5% level ($p<0.05$).

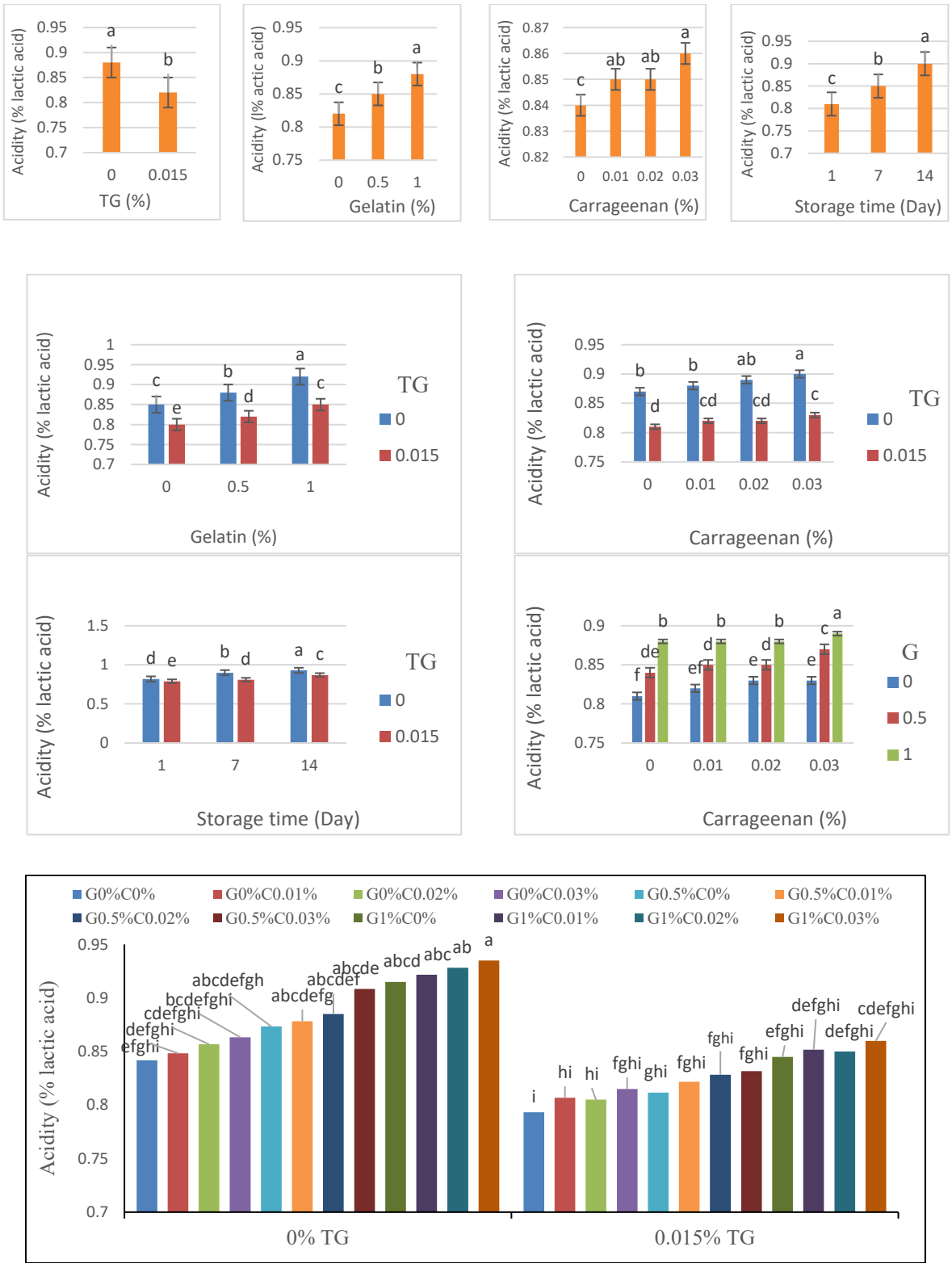


Figure 2. Main and interaction effects of transglutaminase enzyme (TG), gelatin (G) and carrageenan (C) on acidity of manufactured yogurt samples during the storage period. Different lowercase letters indicate significant differences at the 5% level ($p<0.05$).

شـــکل‌های ۱ و ۲ نشـــان می‌دهد که با افزایش زمان نگهداری، میزان pH کاهش و اســـیدیته افزایش معنی‌داری یافت (p<۰/۰۰۱). با توجه به گذشـــت زمان نگهداری و روند طبیعی اسیدی شدن ماست بر اثر فعالیت باکتری‌های اسیدلاکتیک و تولید اسید لاکتیک کاهش در میزان pH دور از انتظـار نیســـت. در طی نگهـداری *لاکتوبـاســـیلوس بولگاریکوس* و *اسـترپتوکوکوس ترموفیلوس* حتی در دمای یخچال هم فعال هســتند و با تخمیر لاکتوز، اســید لاکتیک تولید می‌کنند و اسیدیته را افزایش و pH را کاهش می‌دهند. علت کاهش pH نمونه‌ها باگذشت زمان احتمالاً هیدرولیز و تبدیل لاکتوز به اسـید لاکتیک توسـط باکتری‌های اسـتارتر می‌باشد [٤٥].

براســـاس نتایج به دســـت آمده، اثر متقابل معنی‌داری (p<۰/۰۱) میان دو متغیر آنزیم و زمان نگهداری بر مقادیر pH و اسیدیته نمونه‌های ماست وجود داشت. بیشترین pH با مقدار ٤/٤٧ و کمترین اسیدیته با مقدار ۰/۷۹ درصد اسید لاکتیک برای تیمار حاوی بالاترین ســـطح آنزیم (۰/۱۵ درصد) در روز اول نگهداری؛ و کمترین pH با مقدار ٤/۳۲ و بیشترین اسیدیته با مقدار ۰/۹۳ درصد اسید لاکتیک برای تیمار فاقد آنزیم در روز ١٤ نگهداری بدســت آمد. همچنین نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل معنی‌داری (p<۰/۰۰۱) میان دو متغیر آنزیم و ژلاتین بر تغییرات pH و اسیدیته نمونه‌های ماست وجود داشت. همانطور که در دو شـــکل ۱ و ۲ مشـــاهده می‌شـــود. بیشـــترین pH با ٤/٤٥ و کمترین اسـیدیته ۰/۸ درصـد اسـید لاکتیک مربوط به نمونه فاقد ژلاتین با ۰/۱۵ درصد آنزیم بدست آمد. کمترین pH با مقدار ٤/۳۱ و بیشـترین اسـیدیته ۰/۹۲ درصـد اسـیدلاکتیک برای تیمار فاقد آنزیم با ۱ درصـــد ژلاتین مشـــاهده شـــد. همچین میان دو متغیر درصـــد آنزیم و کاراگینان بر مقادیر pH و اســـیدیته نمونه‌های ماســـت اثر متقابل معنی‌داری مشـــاهده شـــد (p<۰/۰۵). با افزایش هر دو متغیر میزان pH نمونه‌ها کاهش و اسیدیته آنها افزایش یافت اما این تغییرات در خصـــوص افزودن کاراگینان قابل ملاحظه‌تر می‌باشـــد. بیشـــترین pH با ٤/٤٢ و کمترین اســـیدیته ۰/۸۱ درصـــد اسیدلاکتیک برای تیمار فاقد کاراگینان با ۰/۱۵ درصد آنزیم و کمترین pH با مقدار ٤/۳۲ و بیشـــترین اســـیدیته با مقدار ۰/۹ درصـــد اســـید لاکتیک به تیمار حاوی ۰/۳ درصـــد کاراگینان و فاقد آنزیم اختصـــاص یافت (نتایج نشـــان داده نشده است). در مورد اثر متقابل میان دو متغیر درصد ژلاتین و کاراگینان بر مقادیر pH و اســـیدیته نمونه‌های ماســـت (مطابق شـــکل‌های ۱ و ۲) تأثیر متقابل معنی‌داری میان این دو متغیر بر مقادیر pH و اسیدیته نمونه‌های ماست مشاهده شـــد (p<۰/۰۵). بیشـــترین pH با مقدار ٤/٤٥ و کمترین اسیدیته با مقدار ۰/۸۱ درصد اسید لاکتیک برای تیمار شاهد همچنین کمترین pH با مقدار ٤/۳۲ و بیشـترین اسـیدیته با مقدار ۰/۸۹ درصد اسید لاکتیک برای تیمار ۱ درصد ژلاتین و ۰/۳ درصد کاراگینان بدست آمد.

براساس نتایج آنالیز میانگین داده‌ها، اثر متقابل میان دو متغیر درصـــد ژلاتین و زمان نگهداری بر مقادیر pH و اســـیدیته نمونه‌های ماســـت معنی‌داری گردید (p<۰/۰۵). بیشترین pH با مقدار ٤/٤٦ و کمترین اسیدیته با مقدار ۰/۷۸ درصد اسید لاکتیک برای تیمار شاهد در روز اول نگهداری همچنین کمترین pH با مقدار ٤/۲۹ و بیشـترین اسـیدیته با مقدار ۰/۹ درصد اسید لاکتیک برای تیمار ۱ درصد ژلاتین در روز ١٤ام نگهداری بدســـت آمد. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده اثر متقابل معنی‌داری (p<۰/۰۵) میان دو متغیر کاراگینان و مدت زمان نگهداری بر تغییرات pH و اسیدیته نمونه‌های ماست مشخص گردید. بیشترین pH با ٤/٤٧ و کمترین اسیدیته ۰/۸ درصد اسید لاکتیک مربوط به نمونه شاهد روز اول نگهداری بدست آمد. همچنین کمترین pH با مقدار ٤/۳۲ در پایان دوره نگهداری و بیشـــترین اسـیدیته ۰/۹۱ درصـد اسـیدلاکتیک برای تیمار حاوی ۰/۳ درصد کاراگینان مشاهده شد (شکل‌های ۱ و ۲).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات متقابل ۳ متغیر آنزیم×ژلاتین×کاراگینان بر تغییرات pH و اســـیدیته

نمونه‌های ماســـت معنی‌دار بود (p< ۰/۰۵). همانطور که در شـکل ۱ مشـاهده می‌شـود، بیشـترین pH با مقدار ٤/٤٧ برای تیمار شـــاهد و کمترین آن با مقدار ٤/٢٩ برای نمونهٔ تیمار شـده با آنزیم TG و حاوی ۱ درصـد ژلاتین و ۰/۳ درصـد کاراگینان مشـاهده شـد. از طرفی کمترین اسـیدیته با مقدار ۰/۷۹درصد اسید لاکتیک برای تیمار شاهد و بیشترین آن با مقدار ۰/۹٤ درصـد اسـید لاکتیک برای نمونهٔ تیمار شـده با آنزیم TG و حاوی ۱ درصـد ژلاتین و ۰/۳ درصـد کاراگینان مشاهده شد (شکل ۲).

۳-۲- آب‌اندازی (سینرزیس) ماست

یکی از عوامل مؤثر بر پذیرش مصرف‌کنندگان ماست، آب-اندازی یا سینرزیس است. آب‌اندازی یا جدا شدن آب‌پنیر را می‌توان بصورت ظهور آب‌پنیر روی سطح ژل تعریف کرد (مانند ماست قالبی). آب‌اندازی، انقباض ژل است بطوریکه منجر به جدا شدن آب‌پنیر می‌شود. دلایل شایع برای وقوع آباندازی عبارتند از استفاده از دمای انکوباسیون بالا، نسبت زیاد پروتئین‌های آب‌پنیر به کازئین، محتوای کم مواد جامد و صدمات فیزیکی محصول در حین ذخیره‌سازی و توزیع [٤٦]. غنی‌سازی با مواد خشک و یا افزایش محتوای پروتئینی و همچنین، افزودن هیدروکلوئیدهایی مانند ژلاتین، نشاسته و انواع صمغ‌ها روش‌های معمول درجلوگیری از آب‌اندازی است. اتصالات عرضی در زنجیره پروتئینی برای ایجاد ثبات در شبکه سه‌بعدی ژل اسیدی ماست می‌تواند تأثیر برابر و مشابه داشته باشد [٤٧]. شکل ۳ اثرات اصلی و متقابل غلظت متغیرهای مورد آزمایش را بر ویسکوزیتهٔ نمونه‌های ماست نشان می‌دهد. همان‌گونه که می‌توان مشاهده نمود، با افزایش غلظت آنزیم TG میزان سینرزیس نمونه‌های ماست به‌طور معنی‌داری (p<۰/۰۰۱) کاهش یافت. به‌طور کلی، اتصالات عرضی دائمی ε-(γ-Glu) Lye ایجاد شده میان پروتئین‌های شیر تحت اثر آنزیم منجر به کاهش در نفوذ پذیری ژل می‌شود [٤٨]. همچنین، این آنزیم باعث می‌شود که اندازه منافذ در ژل ماست کاهش یابد. کاهش در نفوذپذیری ژل و اندازه منافذ آن منجر به ساختار متراکم‌تر و پایدارتر با فضاهای کوچکتر در ماست می‌شود و از این رو، بیشتر آب آزاد در شبکه ژلی ماست به دام می‌افتد. علاوه بر این TG ظرفیت نگهداری آب را در شبکه ژلی ماست بهبود می‌بخشد [۲۷ و ۳۷]. بهبود بافت ماست و کاهش سینرزیس در نتیجهٔ تیمار آنزیمی TG قبلاً گزارش شده است [۲۳ و ۳۹]. به‌علاوه نتایج نشان داد که با افزایش ژلاتین، سینرزیس نمونه‌های ماست به شکل معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۰۱) به‌طوری که میانگین سینرزیس نمونه‌ها از ١٤/١٣ درصد به ۸/۹۵ درصد تنزل یافت. به نظر می‌رسد که آب اندازی به میزان زیادی با مقدار ترکیبات کازئینی شیر و یا افزودن پایدار کننده ها ارتباط دارد. براساس نتایج نشان داده شده توسط فیسزمن [٤٩] افزودن ژلاتین به عنوان پایدار کننده به فرمولاسیون ماست با تشکیل سطوح متصل به ماتریکس کازئینی سبب تغییر ساختار میکروسکوپی آن شده و باگرانول ها و زنجیره‌های پروتئین شیر پیوند برقرار می‌کند، در نتیجه تشکیل ساختار شبکه‌ای دوتایی تقریباً هموژن بدون انتها تشکیل می‌دهد. این شبکه بهم پیوسته به طور مؤثری می‌تواند فاز آبی را در خود نگه داشته و در نتیجه سبب کاهش آب‌اندازی شود.

با توجه به شکل ۳، افزایش ژلاتین باعث کاهش معنی‌دار سینرزیس نمونه‌های ماست گردید (p<۰/۰۰۱) به‌طوری که میانگین سینرزیس نمونه‌ها از ۱۲/۳۳ درصد به ۱۰/٦۹ درصد کاهش یافت. علت کاهش سینرسیس با افزودن هیدروکلوئید کاراگینان به ماست را می‌توان به جذب آب توسط پلی-ساکاریدهای تشکیل دهنده هیدروکلوئید نسبت داد، این موضوع منجر به ایجاد شبکه ژلی متراکم‌تر و در نتیجه کاهش آب اندازی ماست می‌گردد. با افزایش غلظت هیدروکلوئید و افزایش اتصال آن با مولکول‌های پروتئین ممکن است تجمع‌های پروتئینی بزرگتری ایجاد شود که در نهایت منجر به افزایش آب متصل و کاهش سینرسیس می‌شود [۲۵ و ۳٤]. همچنین نتایج تجزیه داده‌ها نشان داد که مدت زمان نگهداری اثر معنی‌داری بر سینرزیس نمونه‌های ماست دارد

(p<۰/۰۰۱). همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، میانگین سینرزیس نمونه‌ها از ۱۸/۵۰ درصد در روز اول به ۵/۱۲ درصد در روز چهاردهم کاهش یافت. زمان نگهداری فاکتور مؤثری بر سینرزیس ارزیابی شد. ممکن است تغییر آرایش پروتئین‌ها و افزایش اتصالات جانبی پروتئین‌ها منجر به پیوند قوی‌تری با هیدروکلوئیدها شده و در نتیجه کاهش سینرزیس را به همراه داشته باشد. همچنین در طی تخمیر با توجه به افت سریع pH، شبکه پروتئینی به‌صورت نامنظم و غیر یکنواخت تشکیل می‌شود، در نتیجه پیوندهای آب گریز در سطح شبکه ژلی قرار گرفته و در نهایت موجب افزایش آب‌اندازی در پایان تخمیر می‌گردد. این در حالی است که، طی دوره نگهداری با گذشت زمان فرصت کافی برای بازآرایی شبکه ژلی ماست و افزایش ظرفیت نگهداری آب وجود خواهد داشت. همین مساله می‌تواند یکی از دلایل کاهش آب‌اندازی ماست در طول دوره نگهداری باشد [۵۰]. کاهش سینرزیس در ماست طی مدت نگهداری توسط محققین گزارش شده است [٤١ و ٤٧]. کاهش آب‌اندازی در طی مدت زمان ماندگاری می‌تواند به دلیل افزایش مواد خشک کل ماست به علت تبخیر تدریجی رطوبت از محصول باشد [٤٦]. در هرحال برخلاف نتایج این تحقیق، افزایش معنی‌دار سینرزیس در ماست طی دوره نگهداری نیز گزارش شده است [٤٥]

نتایج این تحقیق نشان داد که میان هر یک از دو متغیرهای مورد آزمایش اثر متقابل معنی‌داری از نظر سینرزیس جود دارد. در مورد آنزیم و ژلاتین مشخص گردید که بیشترین سینرزیس (۱۷/۱۲ درصد) مربوط به نمونه شاهد و همچنین کمترین آن (٦/٩٥ درصد) مربوط به نمونهٔ تیمار شده با آنزیم و حاوی ۱ درصد ژلاتین بود (p<۰/۰۰۱). در مورد دو متغیر آنزیم و کاراگینان نیز اثر متقابل معنی‌داری بر مقدار آب‌اندازی نمونه‌های ماست مشخص شد (p<۰/۰۵). با افزایش هر دو متغیر میزان آب‌لندازی نمونه‌ها کاهش یافت یه طوری که بیشترین آب‌اندازی با مقدار ۱۵/۱۱ درصد برای تیمار شاهد و کمترین آب‌اندازی با مقدار ۸/۱٦ درصد برای تیمار حاوی ۰/۳ درصد کاراگینان و ۰/۱۵ آنزیم اختصاص یافت. نتایج اثر متقابل میان آنزیم و زمان نگهداری نیز نشان دهندهٔ تأثیر متقابل معنی‌داری این دو متغیر بر مقدار آب‌اندازی نمونه‌های ماست بود (p<۰/۰۱). بیشترین سینرزیس با مقدار ۱۹/۷ درصد برای تیمار شاهد در روز اول نگهداری و کمترین آن با مقدار ۳/۱٦ درصد برای نمونهٔ تیمار شده با ۰/۰۱۵ آنزیم در روز ١٤ نگهداری بدست آمد. همچنین تأثیر متقابل دو متغیر ژلاتین و کاراگینان بر آب‌اندازی نمونه‌های ماست معنی‌داری شد (p<۰/۰۵) و بیشترین سینرزیس با مقدار ١٤/٩١ درصد برای تیمار شاهد و کمترین آن با مقدار ۸/۳۳ درصد برای تیمار حاوی ۱ درصد ژلاتین و ۰/۳ درصد کاراگینان بدست آمد.

به‌علاوه اثر متقابل میان دو متغیر درصد ژلاتین×زمان نگهداری و کاراگینان×زمان نگهداری بر مقدار سینرزیس نمونه‌های ماست معنی‌داری گردید (p<۰/۰۵). در مورد اثر متقابل درصد ژلاتین×زمان نگهداری، بیشترین سینرزیس با مقدار ۲۱/٦۲ درصد برای تیمار شاهد در روز اول نگهداری و کمترین آن با مقدار ٤ درصد برای تیمار ۱ درصد ژلاتین در روز ١٤ام نگهداری بدست آمد. در مورد کاراگینان×مدت زمان نگهداری نیز بیشترین سینرزیس با مقدار ۱۹/۵۳ مربوط به نمونه شاهد در روز اول نگهداری و کمترین آن با مقدار ٤/٦٦ در پایان دوره نگهداری برای تیمار حاوی ۰/۳ درصد کاراگینان مشاهده شد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات متقابل سه متغیر آنزیم، ژلاتین و کاراگینان بر تغییرات سینرزیس نمونه‌های ماست معنی‌دار بود (p< ۰/۰۵). همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین سینرزیس با مقدار ۱۸/۱۷ برای تیمار شاهد بدست آمد و کمترین آن با مقدار ٦/۳۳ برای تیمار ۰/۱۵ آنزیم، ژلاتین ۱ درصد و کاراگینان ۰/۳ درصد مشاهده شد.

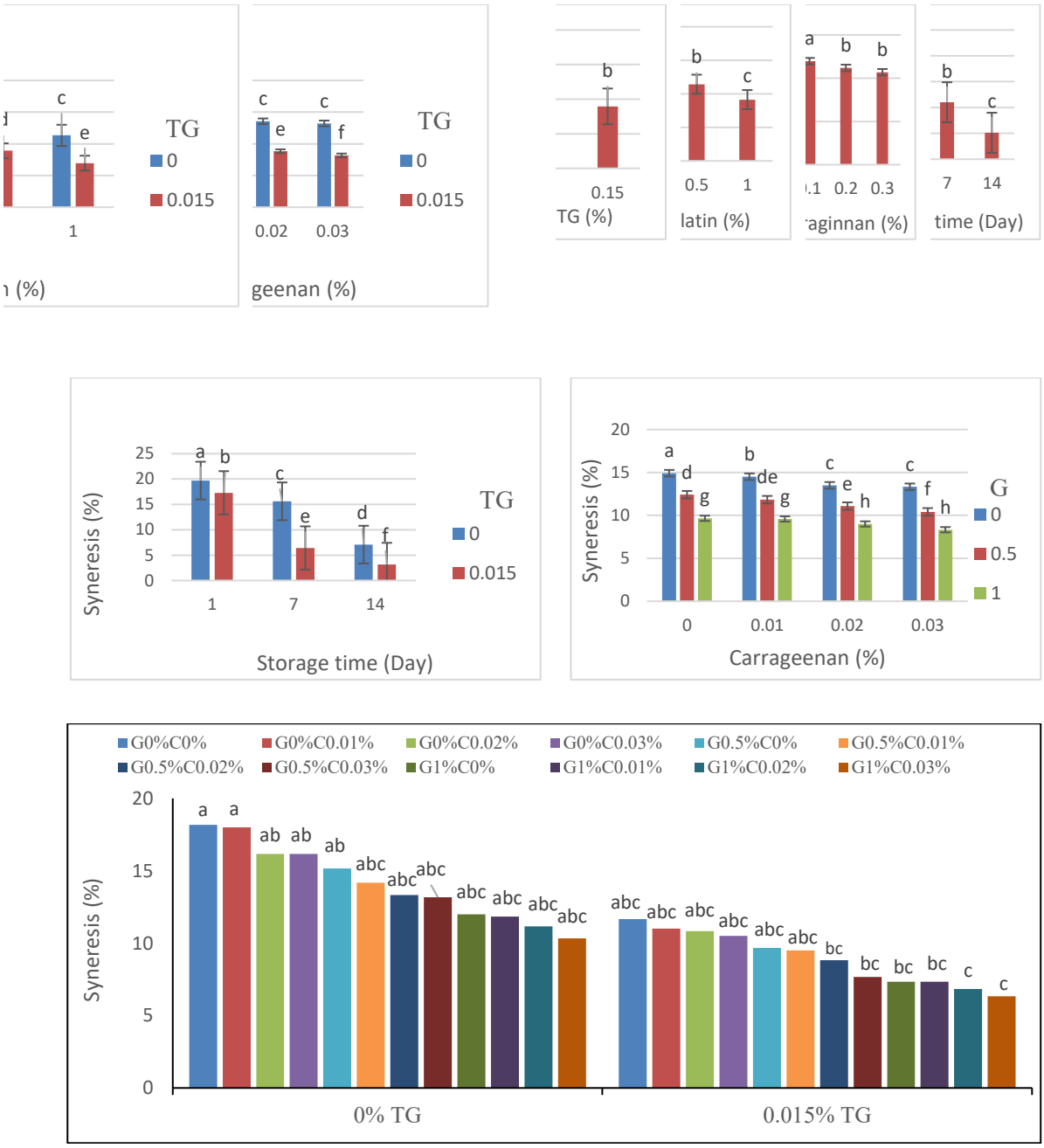


Figure 3. Main and interaction effects of transglutaminase enzyme (TG), gelatin (G) and carrageenan (C) on syneresis of manufactured yogurt samples during the storage period. Different lowercase letters indicate significant differences at the 5% level ($p<0.05$).

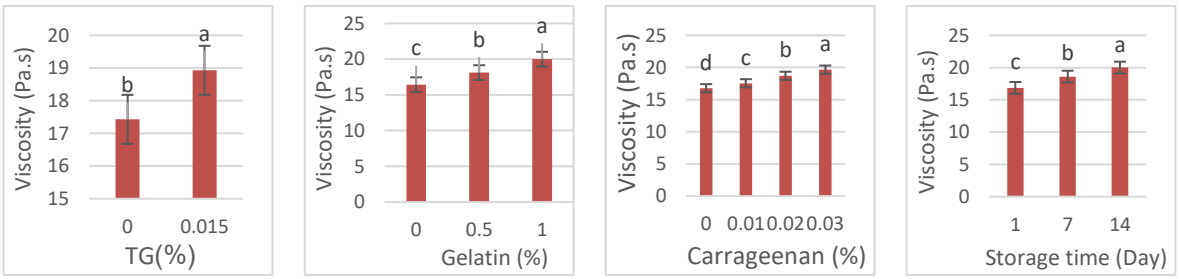
با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثرات متقابل ۳ متغیر آنزیم×ژلاتین×کاراگینان بر تغییرات سینرزیس نمونه‌های ماست معنی‌دار بود ($p< ۰/۰۵$). همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین سینرزیس با مقدار ۱۸/۱۷ درصد برای تیمار شاهد و کمترین آن با مقدار ۶/۳۳ برای نمونهٔ تیمار شده با آنزیم TG و حاوی ۱ درصد ژلاتین و ۰/۳ درصد کاراگینان مشاهده شد.

۳-۳- ویسکوزیتهٔ ماست

از فاکتورهای بسیار مهم و تأثیرگذار بر کیفیت محصول، ویسکوزیته و ساختار ژل می‌باشد که وابسته به عواملی از

جمله ترکیبات شیر (نسبت کازئین به پروتئین سرمی)، دمای انکوباسیون، نوع استارتر مورد استفاده و توانایی در تولید اگزوپلی ساکاریدها هستند [٤٢]. شکل ٤ تأثیر مقادیر مختلف درصد آنزیم بر ویسکوزیته نمونه‌های ماست را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود افزایش آنزیم باعث افزایش معنی‌دار ویسکوزیته نمونه‌های ماست گردید ($p<0/001$). توانایی آنزیم در تشکیل پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا از مونومرهای پروتئین، بدون تغییر ویژگی‌های شیمیایی ماست موجب افزایش میزان ویسکوزیته می‌شود [٤٨]. لورنزن و همکاران [٤٧] گزارش کردند که علت افزایش استحکام ژل در ماست قالبی به دلیل اصلاح پروتئین‌های شیر توسط ترانس‌گلوتامیناز است. گوچه و همکاران [٥١] نشان دادند که نمونه‌های ماست تیمار شده با آنزیم قبل از تخمیر، ویسکوزیته ظاهری بالاتری داشتند. آنها اظهار داشتند که به دلیل اینکه از لحاظ میزان ماده جامد (پروتئین و چربی) بین نمونه‌های ماست تولید شده تحت تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز موجب افزایش ویسکوزیته شده است. عبدرابو و همکاران [٥٢] گزارش کردند که آنزیم توانایی تشکیل پیوندهای کوالانسی بین مولکول‌های پروتئین را دارد. افزودن آنزیم موجب تشکیل سریعتر ژل در مقایسه با نمونه‌های تیمار آنزیمی می‌شود و به معنای دیگر، در نتیجه تشکیل اتصالات عرضی بین گلوتامین و لیزین در نمونه‌های تیمار شده با آنزیم، پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا تشکیل می‌شود. به‌علاوه همانطور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود، افزایش ژلاتین باعث افزایش معنی‌دار ویسکوزیته نمونه‌های ماست گردید ($p<0/001$)، به‌طوری که میانگین ویسکوزیتهٔ نمونه‌ها از ١٦/٤٢ Pa.s به ٢٠/٠ Pa.s افزایش یافت.

شکل ٤ تأثیر مقادیر مختلف کاراگینان بر ویسکوزیته نمونه‌های ماست را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، افزایش کاراگینان باعث افزایش معنی‌دار ویسکوزیته نمونه‌های ماست گردید ($p<0/001$) به‌طوری که میانگین ویسکوزیته نمونه‌ها از ١٦/٧٨ Pa.s به ١٩/٦٧ Pa.s افزایش یافت. اکثر صمغ‌ها به دلیل خاصیت جذب آب خود سبب افزایش ویسکوزیته می‌شوند و با افزایش ظرفیت اتصال به آب و تثبیت حالت فیزیکی مخلوط، مقاومت نمونه‌ها را در برابر جاری شدن افزایش می‌دهند [٤٦]. لذا بدیهی است که با افزایش غلظت صمغ نیز ویسکوزیته افزایش یابد. گومزدیاز و ناوازا [٥٣] اثر سینرژیستی هیدروکلوئیدها را در تغییر رفتار مخلوط‌ها، به پیوندهای شیمیایی قوی بین آنها مرتبط ندانستند، بلکه به برهمکنش‌هایی ضعیف از نوع هیدروفوبیک و الکترواستاتیک نسبت دادند. همچنین میلانی و کوچکی [٤٤] در مطالعه‌ای که اثر عسل خرما و صمغ گوار را بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی دسر ماست منجمد کم‌چرب بررسی کردند گزارش کردند که با افزایش غلظت این دو ماده، ویسکوزیته مخلوط افزایش یافت. پروتئین‌های سرمی از دیگر مواد افزودنی مهم مورد استفاده جهت بهبود ویسکوزیتهٔ محصولات کم‌چرب لبنی هستند که امروزه به عنوان جایگزین چربی مورد استفاده قرار می‌گیرند [٥٤].



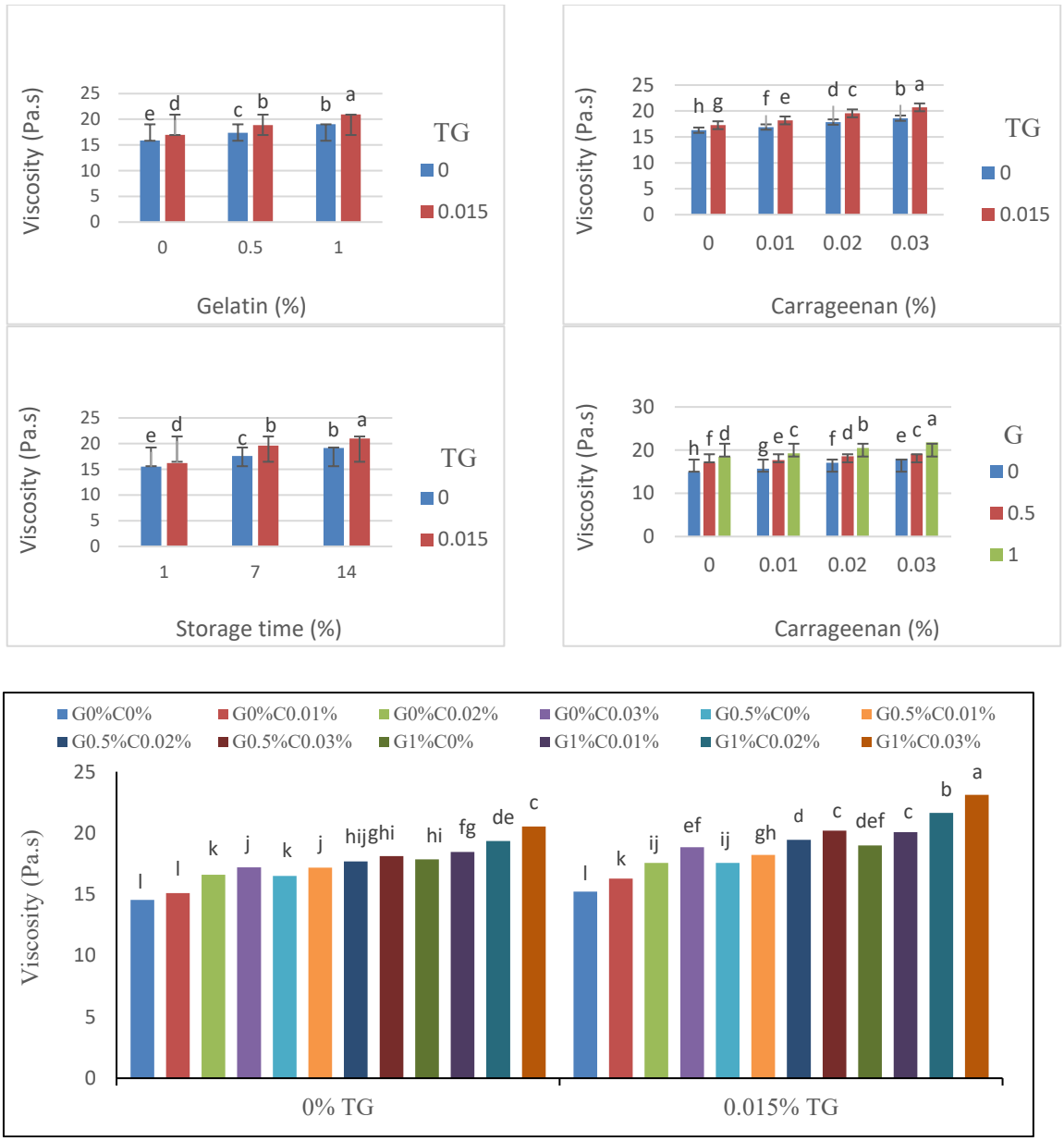


Figure 4. Main and interaction effects of transglutaminase enzyme (TG), gelatin (G) and carrageenan (C) on viscosity of manufactured yogurt samples during the storage period. Different lowercase letters indicate significant differences at the 5% level ($p<0.05$).

مطابق با شکل ٤، زمان نگهداری تأثیر معنی‌دار بر ویسکوزیته نمونه‌های ماست داشت ($p<۰/۰۰۱$)، به‌طوری که میانگین ویسکوزیته نمونه‌ها از ۱۶/۸۶ Pa.s به ۲۰/۰۱ Pa.s در پایان مدت نگهداری افزایش یافت. افزایش ویسکوزیته با گذشت زمان در طول مدت نگهداری در ماست قبلاً هم گزارش شده است و دلیل آن به بازآرایی پروتئین‌ها و اتصالات پروتئین در طی زمان نسبت داده شده است [۳۹]. همانطور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود، اثر متقابل معنی‌داری میان متغیرهای مورد آزمون مشاهده شد. با توجه به اثر متقابل آنزیم، ژلاتین و کاراگینان (شکل ٤) مشخص گردید که با افزایش مقدار هر دو هیدروکلوئید کاراگینان و ژلاتین و انجام تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز، ویسکوزیته نمونه‌های ماست افزایش قابل توجهی یافت به-

طوری که بیشترین ویسکوزیته (۲۳/۱۱ Pa.s) به آن اختصاص یافت. درمقابل، نمونهٔ ماست شاهد (فاقد آنزیم و هیدروکلوئید) از کمترین ویسکوزیته (۱٤/٥٤ Pa.s) برخوردار بود.

۳-٤- پذیرش‌کلی ماست

تایج ارزیابی حسی نشان داد که تیمارهای مورد بررسی همانند ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی تأثیر معنی‌داری بر پذیرش‌کلی نمونه‌های ماست قالبی کم-چرب داشتند. هرچند تیمار آنزیمی سبب افزایش معنی‌دار امتیاز حسی گردید، در هرحال مطابق شکل ۵، اختلاف معنی‌داری از این نظر میان نمونه‌های حاوی هیدروکلوئیدها مشاهده نشد و در بین آن‌ها، تنها نمونهٔ حاوی ۰/۵ درصد ژلاتین و ۰/۰۲ درصد کاراگینان با نمونهٔ شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. به‌علاوه اثر متقابلی میان متغیرهای مورد بررسی مشاهده نشد. در مطابقت با این نتایج، دانش و همکاران تفاوت معنی‌داری در امتیاز پذیرش‌کلی نمونه‌های پنیر سفید ایرانی کم‌چرب هنگام افزودن ایزولهٔ پروتئینی آب‌پنیر گزارش نکردند [۵۵]. ید ملت و همکاران نیز نتایج مشابهی در هنگام تولید ماست هم‌زدهٔ کم‌چرب حاوی صمغ فارسی گزارش نمودند [۳۵]. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد با گذشت زمان نگهداری کیفیت حسی محصول کاهش معنی‌داری یافت. در هر حال، تمامی نمونه‌های ماست در پایان ۱٤ روز نگهداری در یخچال از کیفیت حسی قابل قبولی (امتیاز بالاتر از ۷) برخوردار بودند. بنابراین در یک نتیجه‌گیری کلی در این تحقیق، نمونهٔ تیمار شده با آنزیم و حاوی ۰/۵ درصد ژلاتین و ۰/۰۲ درصد کاراگینان به عنوان بهترین نمونهٔ ماست انتخاب شد.

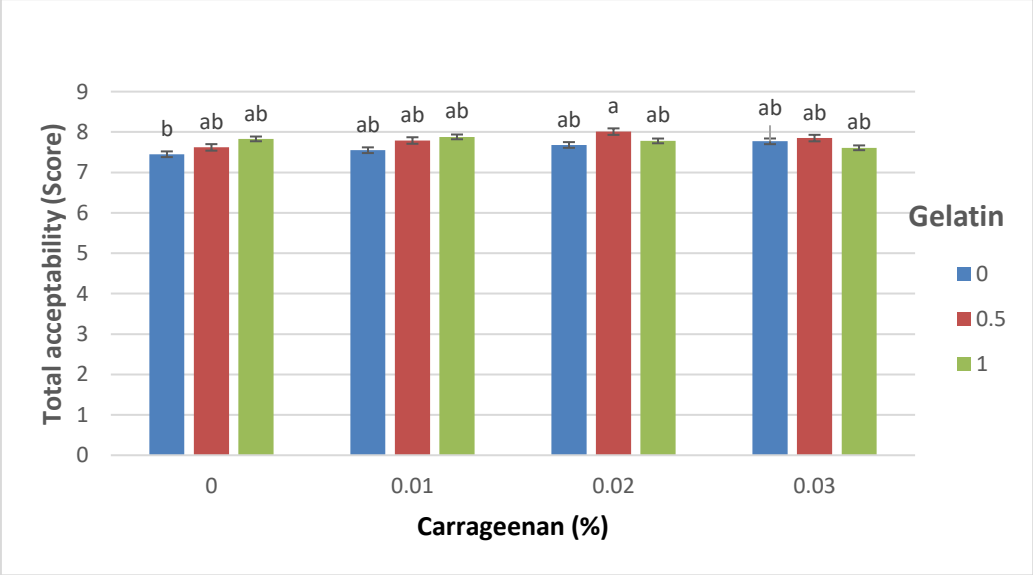


Figure 5. The effects of gelatin (G) and carrageenan (C) on total acceptability of low-fat set yogurt samples. The values are the mean scores of yogurts treated with or without transglutaminase and stored for 14 days. Different lowercase letters indicate significant differences at the 5% level ($p<0.05$).

٤- نتیجه‌گیری

مصرف بیش از حد چربی سلامت انسان را به مخاطره می-اندازد و زمینه‌ساز دیابت و بروز بیماری‌های مختلف به-خصوص تصلب شرایین می‌شود؛ بنابراین توصیه شده است که مصرف چربی محدود شود و غذاهای کم‌چرب جایگزین غذاهای پرچرب شوند. درهرحال، چربی جزء ترکیبی بسیار مهم محصولات غذایی است؛ زیرا که بر طعم و بافت

محصول تولیدی تأثیر بسزایی دارد. در صورت جایگزینی بخشی از چربی محصول با استفاده از جایگزین‌های چربی می‌توان تا حدودی از بروز عوارض منفی کاهش چربی جلوگیری کرد. علاوه بر افزایش مواد خشک بدون چربی به‌ویژه محتوای پروتئینی، افزودن هیدروکلوئیدهایی مانند ژلاتین، نشاسته و انواع صمغ‌ها، از روش‌های معمول درجلوگیری از آب‌اندازی ماست است. تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز با ایجاد اتصالات عرضی مابین زنجیره‌های پروتئینی و در نتیجه ایجاد ثبات در شبکه سه‌بعدی ژل اسیدی ماست می‌تواند روش دیگری در این زمینه باشد. بنابراین، این تحقیق به منظور بررسی تأثیر استفاده از آنزیم TG، و هیدروکلوئیدهای ژلاتین و کاراگینان بر خواص ماست قالبی کم‌چرب طی مدت ۱۴ روز نگهداری انجام پذیرفت. در میان نمونه‌های حاوی هیدروکلوئید، هرچند کمترین مقدار سینرزیس و بیشترین مقدار ویسکوزیته در نمونهٔ تیمار شده با آنزیم TG و حاوی بیشترین مقادیر هیدروکلوئیدهای مورد استفاده (۱ درصد ژلاتین و ۰/۰۳ درصد کاراگینان) مشاهده شد، اما اختلافی از نظر ویژگی‌های مذکور با نمونهٔ حاوی ۰/۵ درصد ژلاتین و ۰/۰۲ درصد کاراگینان (تیمار شده با آنزیم TG) نداشت. بنابراین به دلیل امتیاز حسی بیشتر و معنی‌دار نمونهٔ حاوی مقادیر کمتر هیدروکلوئیدهای مورد مطالعه (نمونهٔ حاوی ۰/۵ درصد ژلاتین و ۰/۰۲ درصد کاراگینان) با ماست شاهد و با در نظر گرفتن جنبهٔ اقتصادی، این نمونه به‌عنوان بهترین محصول ماست قالبی کم‌چرب مشخص شد.

۵- سپاسگزاری

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

دسترسی به داده‌ها

بنا به درخواست در دسترس قرار خواهند گرفت.

تضاد منافع

نویسندگان هیچگونه تضاد منافعی ندارند.

بیانیه تأمین مالی

هیچ بودجه جداگانه‌ای برای این تحقیق دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان

لیلی بختیاری: جمع‌آوری داده‌ها، منابع، نگارش – پیش‌نویس اولیه.

حسین جوینده: مفهوم‌سازی، مدیریت پروژه، تحقیق، مصورسازی، روش‌شناسی، اعتبارسنجی، نرم‌افزار، تحلیل رسمی، نگارش – بررسی و ویرایش.

۶- منابع

[1] Saito, T. (2004). Selection of useful probiotic lactic acid bacteria from the *Lactobacillus acidophilus* group and their applications to functional foods. *Animal Science Journal*, 75(1): 1-13.

[2] Jooyandeh, H. (2024). *Application of Enzymes in Dairy Products*. 2nd Eds., Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University Press, Mollasani, Iran. (In Persian)

[3] Jooyandeh, H., & Mosallaie, F. (2025). *Yogurt and some Fermented Dairy Beverages: Technological and Nutritional Aspects*. 1st Ed., Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University Press, Mollasani, Iran. (In Persian)

[4] Momenzadeh, S., Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., & Barzegar, H. (2021). Evaluation of physicochemical and sensory properties of half-fat synbiotic stirred yogurt containing Panirak (*Malva neglecta*) and lactulose. *Journal of Food Science and Technology* (Iran), 18(120): 353-363. (In Persian)

[5] Abbasi, H., Ehsani, M. R., Mousavi, S. M. A. E., D-Jomeh, Z. E., & Vaziri, M. (2007). Influence of exopolysaccharide producing starter cultures and incubation temperatures on the physical and rheological properties of low fat set type yogurt.

European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6) Copenhagen, Denmark.

[6] Khurana, H.K., & Kanawjia, S.K. (2007). Recent trends in development of fermented milks. *Current Nutrition & Food Science*, 3(1), 91-108.

[7] Gao, Y., Liu, R., & Liang, H. (2024). Food Hydrocolloids: Structure, Properties, and Applications. *Foods*, 13(7): 1077.

[8] Pirsa, S. & Hafezi, K. (2023). Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*, 399: 133967.

[9] Hassanpour Amnieh, A., Jooyandeh, H., Hojjati, M., & Nasehi, B. (2018). Investigation on Physicochemical and Rheological Properties of Malva Leaves Gum (*Malva Neglecta*). *Journal of Food Technology & Nutrition*, 15(2): 19–30. (In Persian)

[10] Rather, J.A., Akhter, N., Ashraf, Q.Sh., Mir, Sh.A. , Makroo, H.A. et al. (2022). A comprehensive review on gelatin: Understanding impact of the sources, extraction methods, and modifications on potential packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 34: 100945.

[11] Cheng, L.H., Lim, B.L., Chow, K.H., Chong, S.M., & Chang, Y.C. (2008). Using fish gelatin and pectin to make a low-fat spread. *Food hydrocolloids*, 22(8): 1637-1640.

[12] Shi, L.E., Li, Z.H., Zhang, Z.L., Zhang, T.T., Yu, W.M., Zhou, M.L., & Tang, Z.X. (2013). Encapsulation of *Lactobacillus bulgaricus* in carrageenan-locust bean gum coated milk microspheres with double layer structure. *LWT-Food Science and Technology*, 54(1): 147-151.

[13] Reis, R.L., Neves, N.M., Mano, J.F., Gomes, M.E., Marques, A.P., et al. (2008). *Natural-Based Polymers for Biomedical Applications*. Woodhead Publishing, pp 129-161.

[14] Wang, N., Tian, J., Guo, L., Chen, X., Hu, B., Song, Sh., & Wen, Ch. (2023). Fucoidan/κ-carrageenan mixed gel: Effect of anions of different valence including chloride, bromide, iodide, sulfate and phosphate. *Food Hydrocolloids*, 137: 108409.

[15] Kouravand, F., Jooyandeh, H., Barzegar, H. & Hojjati, M. (2018). Characterization of cross-linked whey protein isolate-based films containing *Satureja khuzistanica* Jamzad essential oil. *Journal of Food Processing and Preservation*. 42(3): e13557, 1-10.

[16] Jooyandeh, H., Momenzadeh, S., Alizadeh Behbahani1, A. & Barzegar, H. (2022). Effect of *Malva neglecta* and lactulose on survival of *Lactobacillus fermentum* and textural properties of symbiotic stirred yogurt. *Journal of Food Science & Technology,* 60, 1136–1143.

[17] Jooyandeh, H., Kaur A. & Minhas K.S. (2009). Lipases in Dairy Industry. *Journal of Food Science and Technology*, 46(3): 181-189.

[18] Cui, L., Du, G., Zhang, D., Liu, H., & Chen, J. (2007). Purification and characterization of transglutaminase from a newly isolated *Streptomyces hygroscopicus*. *Food Chemistry*, 105(2): 612-618.

[19] 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.

[20] Danesh, E., Goudarzi, M., & Jooyandeh, H. (2017). Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 100: 5206–5211.

[21] Jooyandeh, H., Rostamabadi, H., & Goudarzi, M. (2017). Effect of psyllium husk, basil, and cress seed mucilages on rheological behavior of low-fat chocolate dairy dessert. *Journal of Food Research*, 29(1): 83–98. (In Persian)

[22] Jooyandeh, H., Rostamabadi, H., & Goudarzi, M. (2017). Effect of Zedo and Almond Gums as Fat Replacers on Flow Behavior and Organoleptic Characteristics of Vanilla Low-Fat Dairy Dessert. *Journal of Food Technology & Nutrition*, 16(2): 15–24. (In Persian)

[23] Jooyandeh, H., Mortazavi, S.A., Farhang, P. & Samavati, V. (2015). Physicochemical properties of set -style yoghurt as effect by microbial transglutaminase and milk solids contents. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences,* 4(11S): 59 -67.

[24] 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.

[25] Yademellat, M., Jooyandeh, H., & Hojjati, M. (2017). The effect of application of Persian and Balangu-Shirazi gums on textural properties of low-fat stirred yogurt. *Journal of Food Research*, 27(4): 171–181. (In Persian)

[26] Jooyandeh, H., Saffari Samani, S., Alizadeh Behbahani, B., & Noshad, M. (2022). Effect of transglutaminase and buffalo milk incorporation

on textural parameters and starter cultures viability of strained yogurt. *Journal of Food and Bioprocess Engineering*, 5(2): 195-202.

[27] 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)

[28] Jooyandeh, H. (2011). Soy Products as Healthy and Functional Foods. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 7(1): 71-80.

[29] Beirami, F., Hojjati, M. & Jooyandeh, H. (2021). The effect of microbial transglutaminase enzyme and Persian gum on the characteristics of traditional kefir drink. *International Dairy Journal*, 112: 1-13 (104843).

[30] Ghasabnezhad, M., Hojjati, M., & Jooyandeh, H. (2020). Effects of Soluble Soybean Polysaccharides on Properties of Kefir Produced from Cow and Buffalo Milks. *Applied Food Biotechnology*, 7(1): 31-40.

[31] Torabi, F., Jooyandeh, H., Noshad, M. & Barzegar, H. (2019). Modeling and Optimization of Physicochemical and Organoleptical Properties and *Lactobacillus acidophilus* Viability in Ultrafiltrated Synbiotic Cheese, Containing Microbial Transglutaminase Enzyme, Whey and Inulin. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 8(2): 137-150. (In Persian)

[32] Rostamabadi, H., Jooyandeh, H., & Hojjati, M. (2017). Optimization of physicochemical, sensorial and color properties of ultrafiltrated low-fat Iranian white cheese containing fat replacers by Response Surface Methodology. *Journal Food Science & Technology* (Iran), 14(63): 91-106. (In Persian)

[33] Rostamabadi, H., Jooyandeh, H. & Hojjati M. (2016). Optimization of Iranian low-fat cheese with addition of Persian and almond gums as fat replacers by Response Surface Methodology. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 5(3): 235-248. (In Persian)

[34] Jooyandeh, H., 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 and Nutrition.* 14(3): 669-677.

[35] 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 of Food Science and Technology* (Iran), 14(72): 313-326. (In Persian)

[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(4), 1-11.

[37] Aryamanesh, M., Jooyandeh, H., & Hojjati, M. (2025). The effect of microbial transglutaminase enzyme treatment and Persian gum on the physicochemical and color characteristics of lowfat stirred yogurt. *Journal of Food Science and Technology* (Iran), 21(155): 180- 197.

[38] AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. 18th ed, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA.

[39] 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)

[40] Aprodu, I., Gurau, G., Ionescu, A. & Banu, I. (2011). The effect of transglutaminase on the reological properties of yogurt. *Scientific Study and Research,* 12(2): 185-196.

[41] Ozer, B., Kirmaci, H.A., Oztekin, S., Hayaloglu, A. & Atamer, M. (2007). Incorporation of microbial transglutaminase into non-fat yogurt production. *International Dairy Journal*, 17: 199-207.

[42] 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.

[43] Supavititpatana, P., Indrarini Wirjantoro, T., Apichartsrangkoon, A., & Raviyan, P. (2008). Addition of gelatin enhanced gelatin of corn-milk yogurt. *Food Chemistry*, 106: 211-216.

[44] 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.

[45] Jooyandeh, H., & Kouravand, F. (2018). Effect of *Saturejahortensis* L. essential oil on physicochemical, textural and sensory properties and viability of starter culture of set yoghurt. *Journal of Food Science and Technology* (Iran), 15(83): 87-100. (In Persian)

[46] Tamime, A.Y. & Robinson, R.K. (2007). *Tamime and Robinson's Yoghurt: Science and technology*.

3rd eds, CRC Press, Boca Raton, New York, 425-427.

[47] Lorenzen, P.C., Neve, H., Mautner, A., & Schlimme E, (2002). Effect of enzymatic cross linking of milk proteins on functional properties of set-style yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 55: 152–157.

[48] Faergemand, M., & Qvist, K. B. (1999). Transglutaminase: effect on rheological properties, microstructure and permeability of set style acid skim milk gel. *Food Hydrocolloid*, 11: 287–292.

[49] Fiszman, S.M., Lluch, M.A., & Salvador, A. (1999). Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties. *International Dairy Journal*, 9: 895-901.

[50] Violeta, N., Ion, T. & Mira, E.I. (2010). HPLC Organic Acid Analysis in Different Citrus Juices under Reversed Phase Conditions. *Notulae Botanicae Horti AgrobotaniciCluj-Napoca*, 6: 44-48.

[51] Gauche, C., Tomazi, T., Barreto, P.L.M., Ogliari, P.J. & Bordignon-Luiz, M.T. (2009). Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT - Food Science and Technology,* 42: 239-243.

[52] Abd-Rabo, F.H.R., El-Dieb S.M., Abd-El-Fattah A.M. & Sakr S.S., (2010). Natural State Changes of Cows' and Buffaloes' Milk Proteins Induced by Microbial Transglutaminase. *Journal of American Science*, 6: 612-620.

[53] Gomez-Diaz, D. & Navaza, J.M. (2004). Rheology of food stabilizers blends. *Journal of Food Engineering*, 64: 143-149.

[54] Alimoradi, F., Hojati, E., Jooyandeh, H., Zehni-Moghadam, S.A.H. and Moludi, J. (2016). Whey proteins: Health benefits and food applications. *Journal of International Research in Medical and Pharmaceutical Sciences*, 9(2): 63-73.

[55] Danesh, E., Jooyandeh, H., & Goudarzi, M. (2017). Influence of transglutaminase treatment and whey protein isolate on physicochemical, textural and organoleptic properties of low-fat white-brined cheese. *Journal of Food Science and Technology* (Iran)*,* 14(68): 1-16. (In Persian)

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Effect of enzymatic treatment of microbial transglutaminase and addition of gelatin and carrageenan on some physicochemical properties of low-fat set yogurt

Leila Bakhtiari[2], Hossein Jooyandeh[1]*

1- MSc, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

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

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2026/01/27

Review: 2026/04/11

Accepted: 2026/04/28

Keywords:
Low-fat dairy products,
Hydrocolloids,
Syneresis,
Viscosity,
Storage period

DOI: 10.48311/fsct.2026.118974.83035

*Corresponding Author E-

hosjooy@asnrukh.ac.ir

ABSTRACT

Obesity increases the risk of many serious medical problems, such as type 2 diabetes, cardiovascular problems, high blood pressure, and some cancers. Therefore, consumption of low-fat dairy products, including low-fat yogurt, has attracted the attention of consumers due to their lower calorie and saturated fat content. However, the most important problem in producing these products is their poorer flavor and texture than similar high-fat products. These problems can probably be overcome by adding hydrocolloids such as gelatin and carrageenan as well as microbial transglutaminase (TG) enzymatic treatment, allowing the production of healthier products without compromising consumer acceptance. In this study, the effect of TG enzymatic treatment (at two levels of 0 and 0.015%) and two hydrocolloids gelatin (levels of 0, 0.5 and 1%) and carrageenan (0, 0.01, 0.02 and 0.03%) on the physicochemical properties of low-fat set yogurt during storage was investigated. The findings indicated that all three variables significantly improved the physicochemical properties; while reducing the amount of syneresis in low-fat yogurt samples, increased the viscosity of the product. In addition, these properties also improved with the passage of storage time. Based on the results of this study, it was determined that the best sample was obtained using TG enzymatic treatment (0.015%) and the use of 0.5% gelatin and 0.02% carrageenan.