



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

تولید کیک اسفنجی کم کالری با استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و بررسی برخی خصوصیات گرماسنجی، گرماوزن سنجی و رئولوژیکی آن صدیقه یزدان پناه^{۱*}، محسن عباسی^۲

۱-دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد کازرون، دانشگاه آزاد اسلامی، کازرون، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۷/۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲۰

کلمات کلیدی:

خصوصیات بافتی،

جایگزین چربی،

کم کالری

DOI: 10.22034/FSCT.22.161.24.

* مسئول مکاتبات:

yazdanpanah2004@gmail.com

ترانس گلوتامیناز میکروبی یک آنزیم از گروه ترانسفرازها بوده، که به صورت گسترده به منظور اصلاح ویژگی های عملکردی پروتئین ها در مواد غذایی مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. پیوندهای کووالانسی ایجاد شده توسط این آنزیم اثرات منحصر به فردی روی ظرفیت تشکیل ژل، پایداری حرارتی و ظرفیت نگهداری آب در پروتئین ها دارد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به عنوان جایگزین چربی بر ویژگی های گرماسنجی، گرماوزن سنجی و رئولوژیکی کیک اسفنجی کم کالری بوده است. برای این منظور هفت تیمار مختلف با ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته ۱۰ پی پی ام و ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز تولید شد. براساس نتایج حاصل حداکثر میزان پروتئین (۸.۴۳٪)، دانسیته ظاهری (۰.۷۷ گرم بر سانتی متر مکعب)، دانسیته جسمی (۱/۱۹ گرم بر سانتی متر مکعب)، سختی (۴۰۳۳ گرم)، چسبندگی (۰/۶۱ مگاژول)، پیوستگی (۰/۷۳)، صمغیت (۲۹۴۳ گرم)، آنالپی دوم و قابلیت جویدن (۲۰۴/۶۲ مگاژول) در تیمار با ۲۰ پی پی ام آنزیم و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته مشاهده شد. کمترین آب آزاد در تیمار حاوی ۱۰ پی پی ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی و رنگ را از نظر ارزیاب ها داشته است. مقدار پروتئین به دلیل حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز در نمونه ها افزایش داشت و خصوصیات بافتی آن بهبود یافت. ولی کاهش ۱۰۰ درصد مقدار چربی تاثیر منفی بر خصوصیات حسی محصول تولید شده داشت. بنابراین حذف کامل چربی، برای تولید این محصول پیشنهاد نمی شود ولی با استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز، می توان چربی را تا حد قابل توجهی کاهش داد.

۱-مقدمه

نگرانی‌های متعددی در ارتباط با چربی رژیم غذایی به عنوان منبع اضافی کالری، اسیدهای چرب اشباع‌شده و کلسترول و نیز ارتباط چربی با بروز بیماری‌های قلبی و عروقی و سرطان و چاقی وجود دارد. چربی بیشترین کالری (۹ کیلوکالری بر گرم) را در مقایسه با پروتئین و کربوهیدرات (۴ کیلوکالری بر گرم) فراهم می‌نماید. دریافت اضافی چربی از مهم‌ترین عوامل ابتلا به اضافه وزن و چاقی است که خود زمینه‌ساز بیماری‌های قلبی عروقی، افزایش فشار خون و دیابت است. طبق توصیه سازمان‌های بین‌المللی کل چربی ورودی باید کمتر از ۳۰ درصد انرژی روزانه باشد، و چربی‌های اشباع کمتر از ۱۰ درصد، چربی‌های یک اشباعی و چند اشباعی حداقل $\frac{2}{3}$ انرژی روزانه باشد [۱]. یکی از روش‌های کاهش مصرف چربی استفاده از فرآورده‌های کم‌چربی است. با این وجود مصرف‌کنندگان، خواستار محصولات کم‌چرب با کیفیت مشابه با محصولات پرچرب می‌باشند [۲]. پروتئین‌ها ترکیبات مناسبی برای شبیه‌سازی خصوصیات چربی در مواد غذایی هستند [۳]. آنزیم ترانس گلوتامیناز که به نام EC 2.3.3.13 نیز شناخته می‌شود، جز آنزیم‌های ترانسفراز بوده که به طور گسترده‌ای در طبیعت وجود دارد. آنزیم ترانس-گلوتامیناز پروتئینی است، با وزن مولکولی ۳۷۳۶۸ دالتون که حاوی ۳۳۱ اسید آمینه است. این آنزیم می‌تواند بین اسید آمینه گلوتامین از یک پروتئین و لایزین از پروتئین دیگر ایجاد اتصال کند. جالب توجه است که این آنزیم هیچ‌گونه اثر نامطلوبی بر دسترسی زیستی لایزین نداشته و ارزش تغذیه‌ای پروتئین حاصل را نیز تغییر نمی‌دهد [۴]. در این راستا مطالعاتی صورت گرفته که به برخی از آنها اشاره می‌شود. رزا و همکاران (۲۰۱۲) آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی را به بستنی‌هایی با محتوای چربی ۴، ۶ و ۸ درصد اضافه کردند و ویژگی‌های رئولوژی، ضریب افزایش حجم، رفتار ذوب‌شدن و بافت آنها مورد ارزیابی قرار دادند. بستنی‌های حاوی آنزیم

ترانس گلوتامیناز میکروبی در مقایسه با نمونه‌های بدون آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی، ضریب افزایش حجم بالاتری داشتند. همچنین آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی موجب افزایش شاخص رفتار جریان و ویژگی‌های سودوپلاستیک نسبت به نمونه فاقد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی شد. بستنی‌های با محتوای چربی ۴ و ۶ درصد که حاوی آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی بودند نیز رفتاری مشابه با نمونه-های بستنی بدون آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی با سطح چربی ۸ درصد داشتند [۵]. دیپرو و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که ترانس گلوتامیناز قادر است راندمان پنی‌سازی را از راه حفظ رطوبت در دلمه افزایش دهد [۶]. گایوچ و همکاران (۲۰۰۹) اثر ترانس گلوتامیناز را بر ویژگی‌های فیزیکی ماست تهیه‌شده از مخلوط شیر و آب پنیر ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که با تیمار آنزیمی قوام ماست افزایش می‌یابد و طبق نتایج بافتی و رئولوژیکی، آنزیم تغییرات فیزیکی ناشی از افزودن آب پنیر به ماست را جبران کرده است [۷]. رودریگز و همکاران (۲۰۱۲) از اینولین به عنوان جایگزین چربی در کیک اسفنجی استفاده کردند. در این تحقیق تأثیر استفاده از سطوح مختلف اینولین در فرمولاسیون کیک بر خواص فیزیکی شیمیایی و ریزساختاری آن بررسی شد [۸]. لی و همکاران (۲۰۰۵) نیز از آمیلودکسترین‌های بتا گلوکان یولاف اوتریم به عنوان جایگزین شورتینگ در کیک استفاده کردند. آنها مشاهده نمودند با افزایش میزان جایگزینی از ۲۰ تا ۶۰ درصد، مقدار چگالی ویژه خمیر افزایش، ویسکوزیته و تعداد حباب‌های هوا کاهش یافت که این تغییرات مطابق با تغییرات ایجاد شده در حجم کیک بود [۹]. گومز و همکاران (۲۰۰۶) عملکرد هیدروکلوئیدهای مختلف نظیر آلژینات سدیم، کاراگینان، پکتین، هیدروکسی پروپیل متیل-سلولز، صمغ لوکاست، گوار و صمغ زانتان را بر کیفیت کیک

در این مطالعه به تولید کیک اسفنجی کم‌چرب با استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی و بررسی ویژگی‌های گرماسنجی، گرماوزن‌سنجی و رئولوژیکی آن پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

آرد گندم سفید مخصوص تهیه کیک از کارخانه آرد ارس مهر تبریز، شکر آسیاب شده، روغن، وانیل، بیکنگ پودر، شیرخشک و تخم مرغ از فروشگاه‌های مواد غذایی تهیه شد. پودر آب پنیر از شرکت پگاه فارس و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی با فعالیت ۸۰ واحد بر گرم از شرکت بازرگانی سامان تهران خریداری شد. ویژگی‌های آردهای کیک مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است.

لایه‌ای زرد مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج، به‌جز زمانی که پکتین مورد استفاده قرار گرفت، پذیرش کلی کیک‌های لایه‌ای، با افزودن هیدروکلوئید بهبود یافت [۱۰]. عرب شیرازی و همکاران (۲۰۱۲) روند جایگزینی تخم‌مرغ با صمغ زانتان و هیدروکسی‌پروپیل‌متیل‌سلولز را در کیک اسفنجی مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج، جایگزینی صمغ‌ها سبب بهبود جذب آب، زمان توسعه خمیر و زمان مقاومت خمیر گردید. علاوه بر آن، سطح زیر منحنی مقاومت به کشش و ضریب مقاومت خمیر در برابر کشش نمونه‌های حاوی صمغ‌ها در مقایسه با نمونه شاهد بیشتر شد. همچنین در تمامی تیمارها نسبت به شاهد، رطوبت افزایش اما پروتئین کاهش نشان داد. قابل توجه این که کیک‌های اسفنجی حاوی صمغ‌ها از کیفیت حسی مطلوب‌تری برخوردار بودند [۱۱]. تاکنون در زمینه استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی در کیک اسفنجی کم‌چرب پژوهشی انجام نگرفته است، لذا

Table 1- Characteristics of flour used for cake preparation

Properties*	Amount
Moisture (percentage)	13.14 + 0.01
Protein (percentage)**	7.5 + 0.15
Moist gluten (percentage)	20.2 + 0.76
Gluten index	87 + 1.14
Ash (percentage)	0.508 + 0.02
Zolani number (cc)	14 + 0.13

* The results obtained were the result of three repetitions.

**Analysis results are reported based on 14% flour moisture.

دقیقه در فر با دمای ۱۹۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد پخت گردید. پس از پخت کیک‌ها در دمای محیط به مدت ۳۰-۴۵ دقیقه خنک و سپس در بسته‌های پلی‌اتیلنی دانسیته سبک با درزبندی حرارتی بسته‌بندی و در دمای اتاق تا انجام آزمون-های بعدی نگهداری شد.

۲-۲- روش تولید کیک

تهیه خمیر با روش شکر-خمیر بر اساس دستورالعمل جدول ۲ انجام می‌گردد [۱۲]. پس از تهیه ۱۵۰۰ گرم خمیرکیک، ۴۰ گرم خمیر در قالب‌های گالوانیزه به ابعاد مشخص (۸×۵×۴ سانتی‌متر) ریخته شد و به مدت ۴۵-۶۰

Table 2- The steps of preparing cake dough using the sugar-dough method

Material	weight (gr)	Percentage	Steps to do
oil	17.50	266	Heating was done for 10 minutes until the light color of the cream was produced.
sugar	22	330	

egg	22	330	Eggs were added in 3 to 5 equal parts.
flour	28.40	425.60	All the powdered ingredients were sieved together and added to form a paste. It came out half straight
Baking powder	0.50	7.50	
milk powder	0.61	9.20	
vanilla	0.15	2.30	
whey powder	1.23	18.40	
water	7.61	11.40	After adding water, the dough became smooth.

Table 3- Amount of fat and transglutaminase enzyme used in different samples of sponge cake

Treatment	Transglutaminase enzyme treatment (ppm)	Reduced fat (%)
A (Control)	0	0
B	10	25
C	20	25
D	10	50
E	20	50
F	10	100
G	20	100

پس از رسیدن نمونه‌ها به وزن ثابت در دسیکاتور پلیت‌ها توزین شده و با استفاده از رابطه زیر میزان رطوبت محاسبه شد [۱۵].

$100 \times (\text{وزن نمونه} / \text{کاهش رطوبت بر حسب گرم}) = \text{درصد رطوبت}$

۲-۴-۲- اندازه‌گیری خاکستر

اساس کار اندازه‌گیری خاکستر بر اساس سوزاندن همه مواد آلی و باقیماندن ترکیبات معدنی آرد و توزین آن است. خاکستر کیک بر اساس روش AACC ۰۸-۰۱ اندازه‌گیری شد [۱۵]. ۳ تا ۵ گرم از نمونه با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم در کروزه که از قبل به وزن ثابت رسیده و توین شده بود وزن شد و کروزه در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶-۴ ساعت رسیدن به خاکستر با رنگ خاکستری روشن یا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. سپس کروزه در دسیکاتور خنک-شده و توزین شد. درصد خاکستر از رابطه زیر محاسبه شد: $100 \times (\text{وزن نمونه} / \text{وزن باقیمانده}) = \text{درصد خاکستر}$

۲-۴-۳- اندازه‌گیری چربی

۲-۳- آزمون‌های خمیر کیک

۲-۳-۱- قوام خمیر

خمیر در قیفی با قطر داخلی دهانه گشاد ۱۰ سانتی‌متر و قطر داخلی دهانه باریک ۱/۶ سانتی‌متر ریخته شد. قیف بطور کامل با خمیر پر شده، سپس وزن خمیر خارج شده از قیف در مدت زمان ۱۵ ثانیه اندازه‌گیری و قوام خمیر بر حسب گرم بر ثانیه گزارش شد [۱۳]. اعداد بزرگتر ثبت شده نشان‌دهنده قوام کمتر خمیر است.

۲-۳-۲- وزن مخصوص

برای اندازه‌گیری وزن مخصوص خمیر با اندازه‌گیری نسبت وزن ۲۴۰ میلی‌لیتر خمیر به ۲۴۰ میلی‌لیتر آب محاسبه شد [۱۴].

۲-۴- آزمون‌های کیک

۲-۴-۱- اندازه‌گیری رطوبت

رطوبت کیک با استفاده از روش AACC ۴۴-۱۱ اندازه‌گیری شد. ۲ تا ۳ گرم از نمونه با دقت ۰/۰۱ گرم در پلیت‌هایی که از قبل به وزن ثابت رسیده‌اند توزین و پلیت‌ها در آون ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه قرار داده شد.

۲-۴-۸- اندازه‌گیری دانسیته جسمی

دانسیته جسمی کیک با استفاده از روش پیکنومتری اندازه‌گیری شد [۱۹].

۹-۴-۲- اندازه‌گیری تخلخل

تخلخل نمونه‌های کیک با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۱۹].

$$(1) \quad \text{دانسیته واقعی/دانسیته ظاهری} - 1 = \text{تخلخل}$$

۲-۴-۱۰- اندازه‌گیری تقارن و یکنواختی کیک

تقارن و یکنواختی کیک با استفاده از روش ۹۱-۱۰ AACC اندازه‌گیری شد [۱۵]. به این منظور خط‌کش شفاف مخصوص برای اندازه‌گیری تقارن و یکنواختی تهیه گردید. سپس یک مقطع طولی از کیک تهیه و بر روی الگو قرار داده شد. در نهایت ارتفاع کیک در نواحی C، B و D اندازه‌گیری و تقارن و یکنواختی کیک از طریق روابط زیر محاسبه شد. در مورد یکنواختی عدد بزرگتر نشان دهنده و یکنواختی کمتر است. C نقطه مرکزی، B و D هر کدام به فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از نقطه مرکزی قرار دارند (شکل ۱).
تقارن = $2C - B - D$

$$B - D = \text{یکنواختی}$$

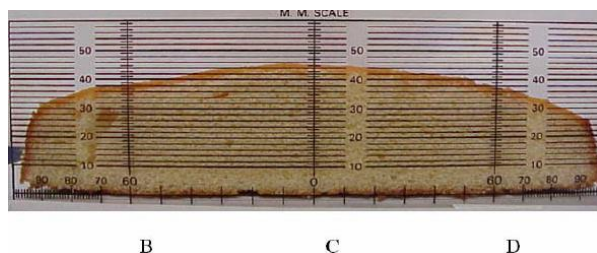


Figure 1- Transparent ruler used to measure cake symmetry and uniformity

۲-۴-۱۱- گرماسنجی (تجزیه حرارتی به روش DSC)

جهت اندازه‌گیری آنتالپی (ΔH) مقدار ۱۰ میلی‌گرم از نمونه در ظرف‌های استیل ضدزنگ کوچک قرار داده شد. ظروف بعد از درب‌بندی از ۲۵ تا ۱۰۰ درجه‌سانتی‌گراد در ۱۰ درجه

چربی کیک بر اساس استاندارد ملی ایران، شماره ۲۸۶۲ اندازه‌گیری شد [۱۶].

۲-۴-۴- اندازه‌گیری پروتئین

بر اساس بر اساس روش ۱۲-۴۶ AACC اندازه‌گیری شد [۱۷]. برای این منظور مقدار کل ازت اندازه‌گیری شده و از طریق فاکتور مربوط به پروتئین غلات (۵/۷) پروتئین محاسبه شد. ۱ گرم از نمونه نرم‌شده در ظرف مخصوص هضم توزین شده و ۲۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد برای هضم به آن افزوده شد. هضم کامل نمونه تا رسیدن به رنگ سبز شفاف ادامه یافت. پس از هضم کامل، تقطیر ازت انجام گرفت. برای اینکار ۳۰۰-۲۵۰ میلی‌لیتر آب و ۵۰ میلی‌لیتر NaOH به‌همراه پرل برای ممانعت از انفجار به محلول هضم شده افزوده شد. یک ارلن حاوی ۵۰ میلی‌لیتر اسید بوریک و چند قطره معرف متیل‌رد در انتهای دستگاه تقطیر به نحوی که قسمت انتهایی دستگاه تقطیر به شکل کامل در اسید غوطه‌ور باشد قرار داده شد و تقطیر تا رسیدن به حداقل حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر انجام گرفت. محلول حاصل با استفاده از اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تا رسیدن به رنگ صورتی تیر و درصد پروتئین کل از رابطه زیر محاسبه شد.

(وزن نمونه/ضریب پروتئین×نرمالیت اسید سولفوریک×میلی‌لیتر اسید مصرفی)=درصد پروتئین

۲-۴-۵- اندازه‌گیری حجم کیک

حجم کیک با استفاده از روش جابجایی دانه کلزا اندازه‌گیری شد [۱۴].

۲-۴-۶- اندازه‌گیری حجم ویژه

حجم ویژه با محاسبه نسبت حجم به وزن کیک اندازه‌گیری شد [۱۸].

۲-۴-۷- اندازه‌گیری دانسیته ظاهری

دانسیته ظاهری کیک با اندازه‌گیری نسبت وزن به حجم کیک اندازه‌گیری شد [۱۹].

۳- بحث و نتایج

۳-۱- وزن مخصوص

جدول ۴ وزن مخصوص خمیر کیک نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز و چربی کاهش یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان وزن مخصوص وجود دارد ($p \leq 0/05$). تیمار F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین ($1/0 \pm 24/002$ گرم بر سانتی متر مکعب) میزان را برای وزن مخصوص کیک داشته است. هم چنین تیمار شاهد حداقل ($1/0 \pm 8/002$ گرم بر سانتی متر مکعب) میزان وزن مخصوص را داشته است. به نظر می‌رسد که با افزایش میزان آنزیم وضعیت الاستیک خمیرها بهبود می‌یابد و بر استحکام دیواره سلول‌های نگهدارنده گاز افزوده می‌شود، لذا قابلیت نگهداری گاز خمیر بیشتر می‌شود و حباب‌های گاز در خمیر از امکان به هم پیوستن و گسترش یافتن بیشتری برخوردار خواهند بود. لذا محصول پخته شده حجم بیشتری خواهد داشت و با افزایش حجم، وزن مخصوص کاهش پیدا می‌کند. بر اساس نتایج پژوهش سوران و همکاران (۲۰۰۳) با افزایش حجم کیک به طور قابل توجهی چگالی نسبی کاهش می‌یابد [۲۲].

۳-۲- قوام

جدول ۴ قوام خمیر کیک نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز و چربی کاهش یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان قوام وجود دارد ($p \leq 0/05$). اعداد بزرگتر ثبت شده نشان‌دهنده قوام کمتر خمیر است. تیمار E با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۵۰ درصد چربی کاهش یافته در مقایسه با سایر تیمارها کمترین ($40/42 \pm 0/01$ گرم بر ثانیه) میزان را برای قوام خمیر کیک داشته است. همچنین تیمار B با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی

بر دقیقه حرارت داده شده و به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰ درجه نگه داشته شدند. همچنین جهت تسریع رتروگرا داسیون آمیلوپکتین به مدت ۱۵ دقیقه نیز در ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند [۲۰].

۲-۴-۱۲- گرماسنجی (DSC) و گرما وزن سنجی (TGA)

۱۰ میلی گرم نمونه در محل نمونه دستگاه قرار داده می‌شود و دما از ۲۵ درجه سانتی‌گراد تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد با اختلاف دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد در پایان با استفاده از گراف‌های دستگاه آب آزاد و باند شده اندازه‌گیری می‌شود و آنتالپی با استفاده از تجزیه حرارتی به روش DSC اندازه‌گیری شد [۲۰].

۲-۴-۱۳- اندازه‌گیری بافت

خصوصیات بافتی کیک‌های غنی شده پس از یک روز از زمان تهیه، توسط دستگاه بافت‌سنج اندازه‌گیری شد. پروب استوانه ای با قطر ۶ میلی متر، با سرعت ۱ میلی متر بر ثانیه و به عمق ۱۰ میلی متر جهت انجام آزمون نفوذ و بررسی خصوصیات بافتی کیک‌های تهیه شده انتخاب شد. سرعت رفت و برگشت پروب ۲ میلی متر بر ثانیه در نظر گرفته شد [۲۱].

۲-۴-۱۴- ارزیابی حسی

از ۱۵ ارزیاب آموزش دیده جهت بررسی خصوصیات (بو، طعم و رنگ) کیک‌های اسفنجی پس از یک روز از زمان تهیه، استفاده گردید. از روش هدونیک ۹ نقطه‌ای جهت بررسی حسی کیک‌ها استفاده شد.

۲-۵- آنالیز آماری

تمام آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل آماری نتایج شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح آماری ۵ درصد توسط نرم افزار SPSS انجام شد.

کاهش یافته حداکثر ($1/21 \pm 0/01$ گرم بر ثانیه) میزان قوام خمیر کیک را داشته است. نور محمدی و همکاران (۲۰۱۲) قوام خمیر کیک اسفنجی را برای نمونه‌هایی که فاقد آنزیم ترانس گلوتامیناز بوده است، $0/38$ گرم بر ثانیه گزارش کرده‌اند [۲۳]. بنابراین می‌توان گفت کاهش چربی به شدت باعث کاهش قوام خمیر کیک می‌شود [۲۴].

Table 4- The results of comparison of average relative density and consistency in sponge cake samples produced with dough containing microbial transglutaminase enzyme and reduced fat

Treatment	Specific gravity (gr/cm ³)	Consistency (gr/s)
A (Control)	0.002 ± 1.08	0.01 ± 3.03
B	0.001 ± 1.09	0.01 ± 1.21
C	0.007 ± 1.12	0.02 ± 37.62
D	0.004 ± 1.14	0.04 ± 11.25
E	0.05 ± 1.15	0.01 ± 40.42
F	0.002 ± 1.24	0.02 ± 25.39
G	0.02 ± 1.13	0.06 ± 31.32

All numbers are mean $\pm$ standard deviation, different letters indicate significance at $P \leq 0.05$ level. A: control, B: 10 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, C: 20 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, D: 10 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, E: 20 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, F: 10 ppm transglutaminase and 100% reduced fat, G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat.

۳-۳- پروتئین

فیزیکوشیمیایی و حسی کیک اسفنجی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن صمغ‌های زدو و کربوکسی‌متیل سلولز، باعث افزایش پروتئین نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد می‌گردد [۲۵].

۳-۴- چربی

جدول ۵ میزان چربی تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس درصدهای مختلف چربی کاهش یافته و آنزیم در سطح $p \leq 0/05$ نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان چربی وجود دارد. تیمار B با 10 پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و 25 درصد چربی کاهش یافته حداکثر میزان ($43/0 \pm 81/01$ درصد) چربی نهایی را داشته است. سایر تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد دارای چربی کمتری بوده‌اند، تیمار F با 10 پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و 100 درصد چربی کاهش یافته کمترین میزان چربی نهایی ($12/0 \pm 69/08$ درصد) را داشته است. با افزایش میزان آنزیم درصد چربی کاهش بیشتری خواهد داشت. سگهال و

جدول ۵ میزان پروتئین تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس درصدهای مختلف چربی کاهش یافته و آنزیم در سطح $p \leq 0/05$ نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان پروتئین وجود دارد. تیمار شاهد کمترین میزان پروتئین ($7/16 \pm 0/02$ درصد) را داشته است. تیمار G با 20 پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و 100 درصد چربی کاهش یافته و تیمار F با 10 پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و 100 درصد چربی کاهش یافته به ترتیب با $8/43 \pm 0/07$ و $8/0 \pm 34/02$ درصد دارای بیشترین مقدار پروتئین بوده‌اند. افزایش مقدار پروتئین در تیمارها، به دلیل استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز و ماهیت ساختاری آن می‌باشد که خود یک پروتئین می‌باشد. میزان نهایی پروتئین کیک در تمامی تیمارها زیاد بالا نبوده است، که این موجب کاهش زمان پخت و ایجاد بافت مطلوب نهایی شده است. نتیجه مشابهی توسط محمدی گرفمی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش شده است که تأثیر صمغ فارسی و کربوکسی‌متیل سلولز بر ویژگی‌های

همکاران (۲۰۱۱) میزان چربی در کلوچه ماهی تولید شده از کپور هندی را ۷ درصد گزارش کردند. در تحقیق حاضر نتیجه مشابهی به دلیل اضافه کردن آنزیم پروتئینی ترانس-گلوتامیناز گزارش شده است [۲۶].

۳-۵- رطوبت

جدول ۵ میزان رطوبت تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس درصدهای مختلف چربی کاهش یافته و آنزیم در سطح $p \leq 0.05$ نشان می دهد. بین تیمارها اختلاف معنی داری در میزان رطوبت وجود دارد. تیمار F با ۱۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته در مقایسه با سایر تیمارها دارای بیشترین میزان (40.5 ± 0.5 / ۳۱ درصد) رطوبت نهایی بوده است. بعد از آن نیز تیمار G با ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته دارای حداکثر رطوبت بوده است، که علت این امر را می توان به سطح پایین چربی و عملکرد بهتر آنزیم ترانس گلوتامیناز نسبت داد. پوراسماعیل و همکاران () در مطالعه خود در زمینه افزودن آنزیم ترانس گلوتامیناز به نان، افزایش

میزان رطوبت را با افزایش سطح آنزیم در فرمولاسیون گزارش نمودند که با نتایج پژوهش ما مطابقت دارد [۲۷].

۳-۶- خاکستر

جدول ۵ میزان خاکستر تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس درصدهای مختلف چربی کاهش یافته و آنزیم در سطح $p \leq 0.05$ نشان می دهد. بین تیمارها اختلاف معنی داری در میزان خاکستر وجود دارد. تیمار F با ۱۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته و تیمار G با ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته به ترتیب حداکثر (38.4 ± 0.4 و 37.0 ± 0.6 درصد) میزان خاکستر نهایی را داشته اند. همچنین تیمار B با ۱۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش یافته دارای کمترین میزان (14.5 ± 0.4 درصد) خاکستر نهایی بوده است. نورمحمدی و همکاران (۲۰۱۲) درصدهای خاکستر کیک اسفنجی را 4.9 درصد گزارش کرده اند، که اندکی کمتر از درصد خاکستر در پژوهش حاضر است، این تفاوت را می توان به استفاده از نوع و درصد ترکیبات متفاوت در فرمولاسیون کیک نسبت داد [۲۳].

Table 5- The results of comparing the average amount of protein, fat, moisture and cake ash in sponge cake samples produced with dough containing microbial transglutaminase enzyme and reduced fat

Treatment	Protein (%)	fat (%)	Moisture (%)	Ash (%)
A (Control)	$0.02^c \pm 7.16$	34.35 ± 0.01^b	15.60 ± 0.30^c	$0.57 \pm 0.04^{c,d}$
B	$0.04^b \pm 7.60$	43.81 ± 0.01^a	19.29 ± 0.20^b	0.14 ± 0.04^d
C	$0.05^{b,c} \pm 7.58$	29.69 ± 0.02^c	18.47 ± 0.06^b	0.60 ± 0.03^c
D	$0.03^b \pm 7.76$	14.03 ± 0.02^d	21.43 ± 0.20^b	0.92 ± 0.05^c
E	$0.05^b \pm 7.75$	12.95 ± 0.01^d	23.08 ± 0.03^b	0.85 ± 0.07^c
F	$0.02^a \pm 8.34$	12.69 ± 0.08^d	31.40 ± 0.05^a	5.38 ± 0.04^a
G	$0.07^a \pm 8.43$	13.60 ± 0.15^d	28.01 ± 0.01^a	2.70 ± 0.06^b

All numbers are mean $\pm$ standard deviation, different letters indicate significance at $P \leq 0.05$ level. A: control, B: 10 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, C: 20 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, D: 10 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, E: 20 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, F: 10 ppm transglutaminase and 100% reduced fat, G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat.

به تیمار شاهد (125.0 ± 1.15 سانتی متر مکعب) اندکی

۳-۷- حجم

کاهش داشته است، که این کاهش را می توان به ایجاد اتصالات عرضی در اثر حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز نسبت داد. فقط در تیمار C با ۲۰ آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش یافته، حجم کیک نهایی اندکی بیشتر از تیمار

جدول ۶ میزان حجم نمونه های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز و چربی کاهش یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می دهد. بین تیمارها اختلاف معنی داری در میزان حجم وجود دارد. در اکثر تیمارها میزان حجم نسبت

۹-۳- حجم ویژه

جدول ۶ میزان حجم ویژه نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان حجم ویژه وجود دارد ($p \leq 0.05$). حجم ویژه کیک در تمام تیمارها نسبت به شاهد کاهش داشته است. تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته دارای حداقل میزان (1.28 ± 0.03) سانتی‌متر مکعب بر گرم) حجم ویژه بوده است. مهربان شندی و همکاران (۲۰۱۳) طی پژوهشی از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در فرمولاسیون کیک اسفنجی در سطوح مختلف استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد این آنزیم باعث کاهش حجم مخصوص کیک می‌شود، نتایج پژوهش آنان با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد [۳۰].

۱۰-۳- تقارن

جدول ۶ میزان تقارن نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان تقارن وجود دارد ($p \leq 0.05$). تیمارهای B و C به ترتیب با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته و ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته دارای حداکثر میزان (26.00 ± 1.15) و (24.00 ± 0.57 میلی‌متر) تقارن نهایی بوده‌اند. افزایش نگهداری گاز به دلیل وجود پروتئین (آنزیم ترانس‌گلوتامیناز) است. همچنین پخش و پراکندگی ذرات ظرفیت روی پروتئین اثر می‌گذارد و باعث ژلاتیناسیون بیشتر نشاسته و در نتیجه موجب شکل‌پذیری بهتر در فر می‌شود. تقارن و یکنواختی بهتر این تیمارها می‌تواند به دلیل مقدار کمتر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و یک شبکه با مقاومت کمتر در برابر ورود حباب‌های هوا به داخل محصول باشد. این حباب‌ها می‌توانند به‌عنوان هسته‌های اولیه جهت توزیع گاز حاصل از مواد

شاهد بوده است. روندا و همکاران (۲۰۰۵) طی پژوهشی گزارش کردند که در زمان پخت به صورت عادی حجم کیک افزایش پیدا می‌کند، اما اگر در فرمولاسیون کیک از ترکیبات اتصال‌دهنده استفاده شده باشد، این مواد افزوده شده تا حدودی مانند آنزیم ترانس‌گلوتامیناز باعث کاهش حجم نهایی محصول می‌شوند. دلیل دیگر کاهش حجم احتمالی ناشی از کاهش قدرت نگهداری گاز در خمیر می‌باشد. با توجه به کاهش قابلیت ورود هوا به خمیر و میزان نگهداری حباب‌های هوا است. میان وزن مخصوص خمیر و حجم کیک رابطه معکوس برقرار است، به این صورت که هرچه وزن مخصوص خمیر کیک کمتر باشد، کیک حجم بیشتری و اگر وزن مخصوص خمیر کیک بیشتر باشد کیک حجم کمتری خواهد داشت [۲۸].

۸-۳- وزن

جدول ۶ میزان وزن نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان وزن وجود دارد ($p \leq 0.05$). وزن کیک فقط در تیمار F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد اندکی کاهش داشته است. اما در سایر تیمارها این فاکتور در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی‌داری افزایش داشته است ($p \leq 0.05$). آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با توجه به ساختار پروتئینی به دلیل حفظ بیشتر رطوبت در نمونه‌ها وزن بیشتری ایجاد کرده است. نتیجه مشابهی توسط راسل و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی هیدرکلوئیدهای مختلف گزارش شده است که تعداد زیاد گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختار فیبر، با ایجاد پیوندهای هیدروژنی جذب آب را افزایش می‌دهند، که نتیجه آن افزایش وزن نمونه‌ها است [۲۹].

نتیجه مشابهی توسط پیغمبردوست (۱۳۸۸) گزارش شده است [۱۲].

شیمیایی پوک کننده عمل نمایند. توزیع یکنواخت حباب های هوا باعث بهبود تقارن و یکنواختی کیک می شود. روش مخلوط کردن شکر-خمیر نیز بر تقارن تاثیر مستقیم دارد.

Table 6- Comparison results of average volume, weight, specific volume, and cake symmetry in sponge cake samples produced with dough containing microbial transglutaminase enzyme and reduced fat

Treatment	Volume (cm ³)	Weight (gr)	Specific volume (cm ³ /gr)	Cake symmetry (mm)
A (Control)	125.00 ± 1.15 ^a	65.80±0.23 ^b	1.89 ± 0.01 ^a	18.00 ± 0.57 ^b
B	110.00 ± 2.30 ^b	66.80±0.28 ^a	1.64±0.04 ^b	1/15 ± 26/00 ^a
C	125.00 ± 0.57 ^a	67.20 ± 0.11 ^a	1.86±0.05 ^a	12.00 ± 1.15 ^c
D	100.00 ± 1.15 ^b	66.90 ± 0.11 ^a	1.49±0.01 ^b	24.00 ± 0.57 ^a
E	105.00 ± 1.73 ^b	66.90 ± 0.11 ^a	1.56±0.02 ^b	17.00 ± 0.57 ^b
F	95.00 ± 1.73 ^c	65.70±0.05 ^b	1.44±0.02 ^{b,c}	19.00±0.57 ^{a,b}
G	85.00 ± 2.30 ^c	66.00±0.11 ^a	1.28±0.03 ^c	10.00 ± 1.15 ^c

All numbers are mean ± standard deviation, different letters indicate significance at $P \leq 0.05$ level. A: control, B: 10 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, C: 20 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, D: 10 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, E: 20 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, F: 10 ppm transglutaminase and 100% reduced fat, G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat.

سانتی متر مکعب بوده است. دانسیته جسمی یک ماده غذایی به ترکیبات استفاده شده موجود در فرمولاسیون بستگی دارد، از آن جایی که در این پژوهش ترکیبات موجود در فرمولاسیون تفاوت زیادی نداشته اند؛ دانسیته جسمی نیز تغییرات زیادی نداشته است، که با نتایج پور صفر و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد [۳۲].

۳-۱۳- تخلخل

جدول ۷ میزان تخلخل نمونه های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز و چربی کاهش یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می دهد. در همه تیمارها درصد تخلخل کیک به صورت معنی داری نسبت به تیمار کنترل کاهش یافته است ($p \leq 0.05$). تیمار G با ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس-گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته دارای کمترین درصد تخلخل (34.94 ± 1.60 درصد) بوده است. پائین بودن میزان تخلخل نمونه های تیمار شده، به این دلیل است که شبکه ای مستحکم در این نمونه ها مانع ورود حباب های هوا در طی هم زدن می شود. زیبرو و همکاران (۲۰۱۲) از مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز در فرمولاسیون نان استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند، که این آنزیم تا حدودی می تواند باعث افزایش تخلخل نمونه ها شود. که با نتایج پژوهش

۳-۱۱- دانسیته ظاهری

جدول ۷ میزان دانسیته ظاهری نمونه های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز و چربی کاهش یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می دهد. در تمام تیمارها میزان دانسیته ظاهری کیک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشته است ($p \leq 0.05$). تیمار G با ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس-گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته حداکثر میزان (0.77 ± 0.01 گرم بر سانتی متر مکعب) دانسیته ظاهری را داشته است. بر اساس نتایج پژوهش دسروسرچ و همکاران (۲۰۰۴) دانسیته ظاهری با حجم کیک رابطه عکس داشته و با افزایش حجم کیک دانسیته ظاهری به صورت قابل توجهی کاهش پیدا می کند [۳۱]. بنابراین تیمار G که کمترین حجم را داشته است، دارای بیشترین دانسیته ظاهری بوده است.

۳-۱۲- دانسیته جسمی

جدول ۷ میزان دانسیته جسمی نمونه های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز و چربی کاهش یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می دهد. در اکثر تیمارها میانگین دانسیته جسمی کیک نسبت به تیمار شاهد اندکی کاهش یافته است، ولی اختلاف آن ها معنی دار نمی باشد ($p \leq 0.05$). میانگین دانسیته جسمی تیمار شاهد 1.20 ± 0.01 گرم بر

حاضر مطابقت ندارد، دلیل این عدم تطابق را می توان به تفاوت مواد اولیه و مقدار آنزیم مصرفی در فرمولاسیون نسبت داد [۳۳].

Table 7- Comparison results of the average amount of apparent density, Solid density and porosity in sponge cake samples in sponge cake samples produced with dough containing microbial transglutaminase enzyme and reduced fat

Treatment	Apparent density (gr/cm ³)	Solid density (gr/cm ³)	Porosity (%)
A (Control)	0.52 ± 0.003 ^c	1.20±0.001 ^a	56.23±0.33 ^a
B	0.60±0.01 ^b	1.19±0.001 ^a	48.97 ± 1.28 ^b
C	0.53 ± 0.001 ^c	1.20±0.005 ^a	55.18 ± 0.14 ^a
D	0.66±0.008 ^b	1.19±0.002 ^a	43.75±0.69 ^b
E	0.63 ± 0.009 ^b	1.19±0.003 ^a	46.66±0.82 ^b
F	0.69 ± 0.01 ^b	1.19±0.001 ^a	42.26±1.04 ^b
G	0.77 ± 0.01 ^a	1.19±0.01 ^a	34.94±1.60 ^c

All numbers are mean ± standard deviation, different letters indicate significance at $P \leq 0.05$ level. A: control, B: 10 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, C: 20 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, D: 10 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, E: 20 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, F: 10 ppm transglutaminase and 100% reduced fat, G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat.

نتایج پژوهش حاضر تا حدودی مطابقت دارد. به طور کلی فاکتور سختی تلفیقی از میزان مقاومت مغز و پوسته در اثر فشردگی است. از طرف دیگر استحکام کیک ارتباط مستقیمی با دانسیته و ارتباط غیر مستقیمی با حجم کیک دارد به طوریکه هر چه دانسیته افزایش یابد، استحکام و مقاومت کیک نیز بیشتر می شود و بنابراین میزان سختی نیز افزایش می یابد. رتروگراداسیون محصولات قنادی بلافاصله پس از اتمام پخت و شروع سرد کردن محصول اتفاق می افتد. این فرایند وابسته به فرمولاسیون محصول، شرایط تولید و نگهداری می باشد. تاثیر بیاتی در محصولات قنادی شامل تغییرات در بافت، پوسته، مغز، از دست دادن رطوبت و عطر و طعم می باشد. در طی بیاتی مولکول های نشاسته به شدت به یکدیگر می پیوندند و سبب بیرون راندن آب از شبکه می گردند. علت افزایش سختی را می توان به رتروگراداسیون نشاسته در طول دوره نگهداری نسبت داد که با افزایش میزان بیاتی، سختی نیز افزایش می یابد. همچنین با افزایش میزان اجزای خشک خمیر محصولی متراکم تر و غلیظ تر تولید می شود [۳۴].

در اکثر تیمارها نسبت به تیمار شاهد میزان چسبندگی افزایش پیدا کرده است. تیمار حاوی ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس-

۱۴-۳- خواص بافتی کیک

جدول ۸ میانگین ویژگی های بافتی نمونه های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامینازو چربی کاهش یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می دهد. در هر ۶ فاکتور بین تیمارها اختلاف معنی داری وجود دارد ($p \leq 0.05$). تیمار G با ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین (مقدار $4.33 \pm 0.30 / 0.05$ گرم) میانگین را برای سختی بافت داشته است. هم چنین تیمار C با ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش یافته حداقل (مقدار $1.10 \pm 0.15 / 0.05$ گرم) میزان سختی را داشته است. کپلمن و دجانگ (۲۰۰۲) با انجام پژوهشی به این نتیجه رسیدند، که استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز می تواند باعث ایجاد اتصالات عرضی در گلوتن موجود در آرد شود، که این امر می تواند منجر به پلیمرهای با وزن مولکولی بالا شود. تشکیل این دسته از پلیمرها می تواند منجر به استحکام هر چه بیشتر شبکه ایجاد شده توسط گلوتن شده و بنابراین ویژگی های فیزیکی- شیمیایی و رئولوژیکی مطلوبی ایجاد می کند. که با

درصد چربی کاهش یافته حداقل ($6/30 \pm 0/01$ میلی متر) میزان الاستیسیته را داشته است. افزایش حالت ارتجاعی، انسجام و انعطاف پذیری می تواند منعکس کننده افزایش حجم مخصوص و هوادهی بهتر باشد. مشخص شده است که حالت ارتجاعی بالا نشان از تازگی، هوادهی و حالت الاستیک مناسب محصول دارد [۳۵ و ۳۴].

در تیمارهای حاوی ۱۰ پی پی ام و ۲۰ پی پی ام آنزیم با ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته مقدار صمغیت نسبت به تیمار کنترل افزایش داشته است. اما در سایر تیمارها میزان صمغی بودن بافت نسبت به تیمار کنترل کاهش داشته است.

در تیمارهای حاوی ۱۰ پی پی ام و ۲۰ پی پی ام آنزیم با ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته مقدار قابلیت جویدن نسبت به تیمار کنترل افزایش داشته است. اما در سایر تیمارها میزان قابلیت جویدن نسبت به تیمار کنترل کاهش داشته است.

تیمار حاوی ۲۰ پی پی ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش یافته دارای حداقل مقدار $79/75 \pm 1/18$ ژول قابلیت جویدن بوده است.

گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش یافته با $0/28 \pm 0/01$ دارای حداقل میزان چسبندگی بوده است. تیمار حاوی ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز با ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته دارای بیشترین مقدار $0/61 \pm 0/02$ چسبندگی نهایی بوده است.

در تیمارهای حاوی ۱۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز با ۵۰ درصد چربی کاهش یافته، ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز با ۲۵ درصد چربی کاهش یافته و ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز با ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته نسبت به تیمار شاهد میزان پیوستگی افزایش پیدا کرده است. در سایر تیمارها پیوستگی نسبت به تیمار کنترل کاهش یافته است. رنژیتی و همکاران (۲۰۰۷) طی پژوهش خود اعلام کردند که، استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی در مواد غذایی باعث بهبود پیوستگی می شود. که با نتایج این پژوهش تا حدودی مطابقت دارد [۳۵].

تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین ($7/26 \pm 0/02$ میلی متر) میانگین را برای الاستیسیته بافت داشته است. هم چنین تیمار C با ۲۰ پی پی ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۲۵

Table 8- Comparison results of the average amount of texture characteristics in sponge cake samples in sponge cake samples produced with dough containing microbial transglutaminase enzyme and reduced fat

Treatment	Hardness (gr)	adhesiveness (mj)	Cohesiveness	Springiness (mm)	Gumminess (gr)	Chewiness (j)
A (Control)	$2778.50 \pm 4/04^b$	0.45 ± 0.01^b	0.67 ± 0.005^a	7.26 ± 0.02^a	$1.67^b \pm 1872.80$	133.34 ± 1.17^b
B	$2559.00 \pm 2/88^b$	0.32 ± 0.01^c	0.65 ± 0.005^b	7.15 ± 0.02^a	$0.51^b \pm 1651.15$	115.77 ± 0.61^b
C	$1810.00 \pm 1/15^c$	$0.28 \pm 0.01^{c,d}$	0.71 ± 0.01^a	6.30 ± 0.01^c	$1.68^c \pm 1288.70$	79.75 ± 1.18^c
D	2448.50 ± 2.30^b	0.50 ± 0.02^b	0.68 ± 0.005^a	6.75 ± 0.01^b	1672.10 ± 1.15^b	110.68 ± 1.17^b
E	2440.00 ± 1.73^b	0.38 ± 0.01^c	0.65 ± 0.01^b	6.72 ± 0.01^b	1587.40 ± 1.21^b	104.61 ± 1.21^b
F	$3925.00 \pm 2/88^a$	0.46 ± 0.02^b	0.65 ± 0.01^b	6.80 ± 0.01^b	2540.00 ± 1.15^a	16.1 ± 12.171^a
G	4033.00 ± 2.30^a	0.61 ± 0.02^a	0.73 ± 0.01^a	7.09 ± 0.02^a	2943.00 ± 1.73^a	204.62 ± 1.74^a

All numbers are mean $\pm$ standard deviation, different letters indicate significance at $P \leq 0.05$ level. A: control, B: 10 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, C: 20 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, D: 10 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, E: 20 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, F: 10 ppm transglutaminase and 100% reduced fat, G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat.

مقادیر مختلف چربی و آنزیم در سطح $p \leq 0/05$ نشان می دهد. آنتالپی معیاری از کمیت و کیفیت کریستال ها و از دست دادن نظم مولکولی درون گرانول هاست. بر اساس داده های موجود در این جدول تیمار حاوی ۱۰ پی پی ام آنزیم با ۵۰

۱۵-۳- گرما سنجی و گرما وزن سنجی

جدول ۹ (شکل ۲) تغییرات آنتالپی اول و دوم، آب آزاد و باند شده در تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس

تیمار حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش یافته کمترین میزان آب آزاد ($22/21 \pm 0/00$) را داشته است. تیمارهای حاوی ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش یافته بیشترین میزان آب آزاد ($26/62 \pm 0/00$) را داشته است. تیمار حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۵۰ درصد چربی کاهش یافته و تیمارهای حاوی ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ و ۵۰ درصد چربی کاهش یافته بیشترین میزان آب باند شده ($29/1 \pm 0/00$) را داشته‌اند. تیمارهای حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش یافته کمترین میزان آب باند شده ($24/21 \pm 1/00$) را داشته است. در سال ۲۰۰۲، پیتراسیک پژوهشی در مورد اثر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر روی خصوصیات بافتی برگریهای گوشت انجام داد و به این نتیجه رسید، که آنزیم باعث کاهش آب آزاد و افزایش ماندگاری محصول می‌شود. که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد [۳۷].

درصد چربی کاهش یافته کمترین میزان آنتالپی اول ($106/1 \pm 89/00$) را داشته است. تیمارهای حاوی ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش یافته بیشترین میزان آنتالپی اول ($66/18 \pm 1/00$) را داشته است. تیمار حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته کمترین میزان آنتالپی دوم ($2814/39 \pm 0/71$) را داشته است. تیمارهای حاوی ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته بیشترین میزان آنتالپی دوم ($1933/57 \pm 1/00$) را داشته است. میزان نهایی اول و دوم در تمامی تیمارها منفی بوده است، که این موجب کاهش زمان پخت و ایجاد بافت مطلوب نهایی شده است. آنتالپی پایین در واقع نظم ساختمانی و پایداری کمتر کریستال‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز سبب افزایش انعطاف‌پذیری ساختمانی شده است [۳۶].

Table 9- The results of comparing the average amount of enthalpy, free and bound water in sponge cake samples in sponge cake samples produced with dough containing microbial transglutaminase enzyme and reduced fat

Treatment	Enthalpy 1 (j)	Enthalpy 2 (j)	free water (%)	Bound water (%)
A (Control)	-67.00±1.00 ^a	-2491.00±0.50 ^b	24.03 ± 0.50 ^a	27.00 ± 1.00 ^a
B	-78.27±2.00 ^a	-2243.27±0.94 ^b	22.21±0.00 ^b	24.21±1.00 ^b
C	-66.18±1.00 ^a	-2754.18±0.81 ^c	26.62±0.00 ^a	29/00±1/00 ^a
D	-106.89±1.00 ^b	-2537.89±0.83 ^b	25.25±0.50 ^a	29/00±1/00 ^a
E	-73.42±1.00 ^a	-2726.42±0.26 ^c	25.42±0.00 ^a	29/00±1/00 ^a
F	-76.39±0.65 ^a	-2814.39±0.71 ^c	22.39±0.00 ^b	26.00 ± 1.00 ^b
G	-83.80 ± 1.00 ^a	-1933.57±1.00 ^a	22.32±0.60 ^b	25.50 ± 1.00 ^b

All numbers are mean ± standard deviation, different letters indicate significance at $P \leq 0.05$ level. A: control, B: 10 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, C: 20 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, D: 10 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, E: 20 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, F: 10 ppm transglutaminase and 100% reduced fat, G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat.

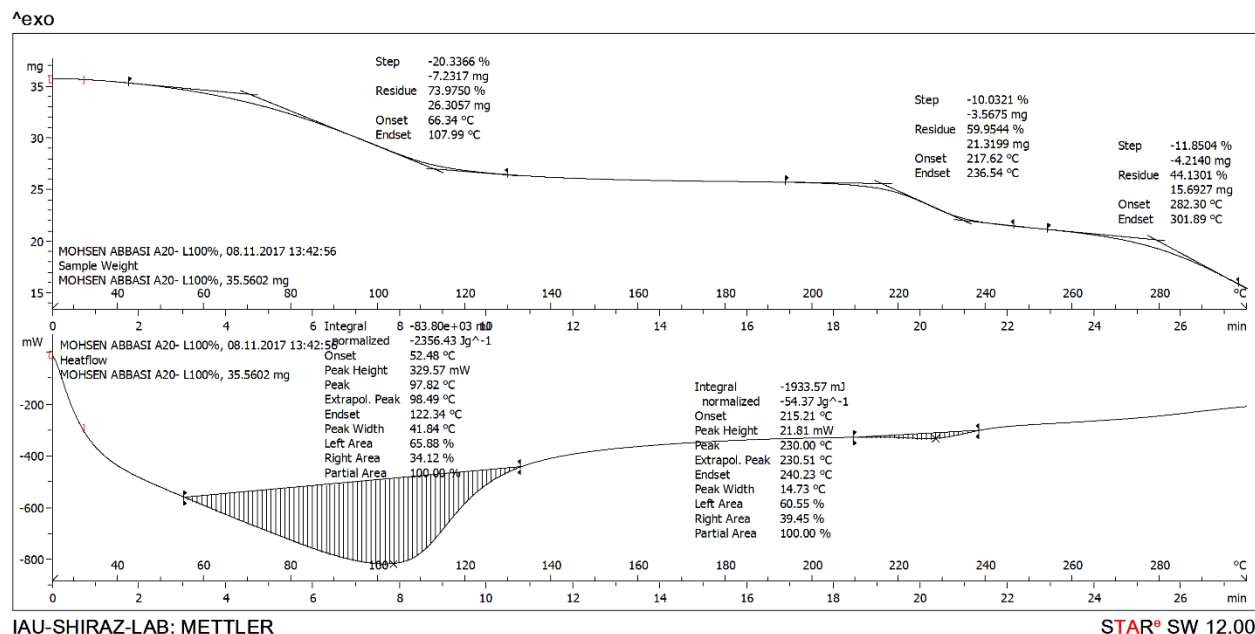


Figure 2- An example of differential calorimetry in a sample of sponge cake produced with dough containing microbial transglutaminase enzyme and reduced fat (Treatment G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat).

چنین تیمار شماره G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته حداقل (۲/۶۰) میانگین را برای ارزیابی حسی طعم داشته است. به طور کلی چربی نقش مهمی در ایجاد احساس دهانی مطلوب و طعم مناسب دارد، با کاهش چربی از ۱۰۰ به صفر درصد میزان رضایت مصرف‌کنندگان از طعم کیک نسبتاً کاهش داشته است. تیمار D با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین (۸/۸۳) میانگین را برای ارزیابی حسی رنگ داشته است. هم چنین تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته حداقل (۱/۱۳) میانگین را برای ارزیابی حسی رنگ داشته است. بر اساس پژوهش ایدورا و همکاران (۲۰۰۷) علت تیره‌تر شدن رنگ کیک در تیمارهای F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته، تیمار E با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته و تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته را می‌توان

۱۶-۳- ارزیابی حسی

جدول ۱۰ میانگین نمره ارزیابی حسی بو، طعم و رنگ نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. در هر ۳ فاکتور بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($p \leq 0/05$). تیمار D با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین (۷/۳۷) میانگین را برای ارزیابی حسی بو داشته است. هم چنین تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته حداقل (۲/۶۷) میانگین را برای ارزیابی حسی بو داشته است. پایین بودن بیش از حد نمره ارزیابی حسی بو برای تیمارهای F و G در مقایسه با تیمار شاهد را می‌توان به کاهش ۱۰۰ درصد چربی نسبت داد. تیمار D با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین (۸/۴۷) میانگین را برای ارزیابی حسی طعم داشته است. هم

به تشدید واکنش میلارد و کاراملیزاسیون در طی تولید و فرایند حرارتی محصول نسبت داد [۳۸].

Table 10- The results of comparing the average amount of Sensory evaluation in sponge cake samples in sponge cake samples produced with dough containing microbial transglutaminase and reduced fat

Treatment	Smell	Ttaste	Color
A (Control)	6.20 ^{a, b}	6.87 ^b	6.40 ^b
B	6.27 ^a	6.37 ^b	7.27 ^a
C	5.00 ^b	6.87 ^b	6.57 ^b
D	7.37 ^a	8.47 ^a	8.83 ^a
E	5.77 ^b	2.47 ^d	4.40 ^c
F	3.73 ^c	4.37 ^c	2.40 ^d
G	2.67 ^c	2.60 ^d	1.13 ^d

All numbers are mean, different letters indicate significance at $P \leq 0.05$ level. A: control, B: 10 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, C: 20 ppm transglutaminase and 25% reduced fat, D: 10 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, E: 20 ppm transglutaminase and 50% reduced fat, F: 10 ppm transglutaminase and 100% reduced fat, G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat.

۱۷-۳- نتیجه‌گیری

تهیه محصولات غله‌ای کم‌چرب، هدف اکثر کارخانجات غذایی می‌باشد و این پدیده، محققین صنعت غذا را بر آن داشته تا راهکارهایی جهت کاهش چربی مواد غذایی ارائه دهند که در عین حال خواص کاربردی چربی نیز در سیستم غذایی حفظ گردد. از جمله راهکارها جهت رفع مشکلات کیفی حاصل از حذف چربی در محصولات غذایی، استفاده از انواع مختلف جایگزین‌های چربی است. در تیمار با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز با کاهش چربی خواص مکانیکی و رئولوژیکی خمیر و ارگانولپتیکی کیک دستخوش تغییرات مطلوب به دلیل حضور ساختار پروتئینی آنزیم و ایجاد پیوندهای مفید در ساختار کیک در مقایسه با نمونه شاهد و سایر تیمارها شده است ولی حذف کامل چربی پیشنهاد نمی‌شود.

منابع

- prepared with erythritol as replacement for sucrose. *Journal of Food Science* 68, 2107-2110. [15]
- AACC 1999, Approved method of the AACC, American Association of Cereal Chemist, St, Paul, MN.
- [16] Institute of standard and industrial research of Iran. 1987. The method of measuring the fat of cereals and its products. No. 2862.
- [17] AACC 1999, Approved method of the AACC, American Association of Cereal Chemist, St, Paul, MN.
- [18] Attia, E.S.A., Shehata, H.A., Askar, A. (1993). An alternative formula for the sweetening of reduced-calorie cakes. *Food Chemistry*, 48, 169-172.
- [19] Kocer, D., Hicsasmaz, Z., Bayindirli, A, Katnas, S. A. (2006). Bubble and Pore Formation of the High-Ratio Cake Formulation with Polydextrose as a Sugar - and Fat -Replacer. *J. Food Eng*, 78, 953 - 964
- [20] Yazdanpanah, S., Ehsani, M. R., Mizani, M. (2015). Water Mobility in Accelerated Ripening of UF Feta Cheese. *J. Agr. Sci. Tech*. 17, 663-674.
- [21] Lebesi, D.M., Tzia, C. (2011) Effect of the Addition of Different Dietary Fiber and Edible Cereal Bran Sources on the Baking and Sensory Characteristics of Cupcakes. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 710-722. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0181-3>.
- [22] Swaran, S., Chauhan, G. S., Raghuvanshi, R., Sharma, P., Chauhan, P., and Bajpai, A. (2003). Replacement egg solids with whey protein concentrate and optimization of its levels in cake making. *Journal of Food Science and Technology*, ISSN 0022-1155, 40(4), 386- 388
- [23] Nourmohammadi, E., Peyghambari, H., Oladghafari, E., Azadmard damirchi, S., Hesari, J. (2012). Effects of replacement sucrose with polyols and aspartame on the properties of sponge cake. *Journal of Food Industry*, 21, (2), 155 -165.
- [24] Baeva, M.R., Panchev, I.N., Terzieva, V.V. (2000). Comparative study of texture of normal and energy reduced sponge cakes. *Die Nahrung*, 44(4), 242-246.
- [25] Mohammadi Garfami, F., Eshaghi, M. R., Nateghi, L. (2015). Introduction to Zedo Hydrocolloids, First Iranian Scientific Conference on Food Science and Technology, Association for Development and Promotion of Fundamental Sciences and Technologies.
- [26] Sehgal, H., Shahi, M., Sehgal, G. K., Thind, S. S. (2011). Nutritional, microbial and organoleptic qualities of fish patties prepared from carp (*Cyprinus*
- [1] Shokrollahi, F., Mirzadeh, H. (1999). *Polymer Science and Technology*, Twelfth Year, No. 4.
- [2] Maghsoudi, S. H. (2005). New technology of types of sauces. Tehran, Marz Danesh. Press, 139-143, 202-221p.
- [3] Arrese, E.L., Sorgentini, D.A., Wagner, J.R., Anon, M.C. (1991). Electrophoretic, solubility and functional properties of commercial soy protein isolates. *J. Agric. Food. Chem*, 39(6), 1029-1032.
- [4] Kuraishi, C., Yamazaki, K., Susa, Y. (2001). Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Reviews International*, 17(2), 221-246.
- [5] Rossa, P.N., Burin, V.M., Bordignon, T. (2012). Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents. *LWT-Food. Sci. Technol*, 48(2), 224-230.
- [6] De Pierro, P., Mariniello, L., Sorrentino, A., Gosafatto, C. V. L., Chianese, L., Porta, R. (2010). Transglutaminase-induced chemical and rheological properties of cheese. *Food Biotechnology*, 24, 107-120.
- [7]. Gauche, C, Tomazi, T., Barreto, P.L.M. (2009). Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT*, 42, 239-243.
- [8] Rodriguez-Garcia, J., Puig, A., Salvador, A., Hernando, I. (2012). Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: structure, physicochemical, and sensory properties. *J. Food Sci*, 77(2), C189-C97. 6.
- [9] Lee, S., Kim, S., Inglett, G.E. (2005). Effect of shortening replacement with oatrim on the physical and rheological properties of cakes. *Cereal Chem*, 82(2), 120-4.
- [10] Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A. Rosell, C. M. (2006). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 167-173.
- [11] ArabShirazi, S., Movahhed, S. and Nemati, N. (2012). Evaluation of addition of Xanthan and Hydroxyl Propyl Methyl Cellulose gums on chemical and rheological properties of sponge cakes. *Annals of Biological Research*. 3 (1), 589-594.
- [12] Pyghambari, S. H. (2009). Technology of cereal products, second volume. Publications of Tabriz University of Medical Sciences.
- [13] Pierce, M. Mand Walker, C.E. (1987). Addition of sucrose fatty acid ester emulsifiers to sponge cakes. *Cereal Chemistry*, 64, 222-225.
- [14] Lin, S.D., Hwang, C., Fand Yeh, C.H. (2003). Physical and sensory characteristics of chiffon cakes

- [33] Ziobro, R., Korus, J., Witczak, M., Juszczak, L. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part II: Quality and staling of gluten-free bread. *Food Hydrocolloids*, 29(1), 68-74. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.02.009
- [34] DeJong, G.A.H., Koppelman, S.J. (2006). Transglutaminase Catalyzed Reactions: Impact on Food Applications. *Journal of food science*, https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08819.x.
- [35] Renzetti, S., Dal Bello, F., Arendt, E.K. (2007). Impact of transglutaminase on the microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads made from different gluten-free flours. *Journal of Cereal Science*.
- [36] Cooke, D., Gidley, M. J. (1992). Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: origin of the enthalpic transition. *Carbohydrate research*, 227, 103 - 1.
- [37] Pietrasik, Z., Li-Chan, E. (2002). Binding and textural properties of beef gels as affected by protein, κ -carrageenan and microbial transglutaminase addition. *Food Res Int.* 35(1), 91-98.
- [38] Edoura-Gaena, R. B., Allais, I., Trystram, G., Gros, J-B. (2007). Influence of aeration conditions on physical and sensory properties of aerated cake batter and biscuits. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1020-1032.
- carpio Linn.) of three weight groups. *Food Science Technology Journal*, 48, 242 -245.
- [27] Pouresmaiel, N., Azizi, M. H., Abbasi, S., Mohammadi, M. (2011). Gluten free bread formulation by using guar and trans microbial glutaminase. *Journal of food science reserarches*, 21 (1),70 -81.
- [28] Ronda, F., Gomes, M., Blanco, C. A., Caballero, P. A. (2005). Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar free sponge cakes. *Journal of Food Chemistry*, 90, 549-55.
- [29] Rosell, C.M., Rojas, J.A., Benedito, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocoll.* 15, 75–8.
- [30] Mehrabanshndi, A. (2013). Study of physicochemical characteristics of glutenfree batter and sponge cake [dissertation]. Gorgan: Agricultural Sciences and Natural Resources, MSc. Faculty of Food Science and Engineering.
- [31] DesRochers, J.L., Seitz, K.,D., Walker, C.E. (2004). *Encyclopedia of Cereal Sciences*.Oxford Elsevier.129-133.
- [32] Poursafar, L. Peighambardoust, S.H. Alizadeh Shalchi, L. Shakuoie Bonab. E. and Rafat. S.A. (2012). Effect of the temperature and time of flour heat treatment on the quality characteristics of sponge cake. *EJFPP*, 2 (4):, 87- 104.



Scientific Research

Production of low-calorie sponge cake using microbial transglutaminase enzyme and checking some of its thermometric, thermogravimetric and rheological properties

Sedigheh Yazdanpanah^{1*}, Mohsen Aabbasi²

1- Associate Professor, Department of Food Science and Industry, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran.

2- Graduated from Master's degree in Food Industry, Department of Food Science and Industry, Kazerun Branch, Islamic Azad University, Kazerun, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2024/9/22

Accepted: 2024/11/10

Keywords:

Fat replacement,
Low calorie,
Textural properties

DOI: 10.22034/FSCT.22.161.24.

*Corresponding Author E-

yazdanpanah2004@gmail.com

Microbial transglutaminase is an enzyme from the group of transferases, which is widely used to modify the functional characteristics of proteins in various foods. The covalent bonds created by this enzyme have unique effects on gel formation capacity, thermal stability and water retention capacity in proteins. The purpose of this research was to investigate the effect of different amounts of microbial transglutaminase enzyme as a fat substitute on the thermometric, thermogravimetric and rheological characteristics of low-calorie sponge cake. For this purpose, seven different treatments were produced with 0, 25, 50 and 100% reduced fat, 10 ppm and 20 ppm transglutaminase enzyme. Based on the results, the maximum amount of protein (8.43%), apparent density (0.77 g/cm³), solid density (1.19 g/cm³), hardness (4033 g), adhesion (0.61 MJ), cohesion (0.73), gumminess (2943 g), second enthalpy and chewability (204.62 MJ) were observed in the treatment with 20 ppm enzyme and 100% reduced fat. The lowest free water was observed in the treatment containing 10 ppm enzyme with 25% reduced fat. The treatment with 10 ppm of enzyme and 50% reduced fat had the best taste, smell and color according to the evaluators. The amount of protein increased due to the presence of transglutaminase enzyme in the samples and its tissue characteristics improved. But reducing 100 percent of fat had a negative effect on the sensory properties of the produced product. Therefore, complete removal of fat is not recommended for the production of this product, but by using transglutaminase enzyme, fat can be reduced to a significant extent.