مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تولید کیک اسفنجی کم‌کالری با استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی و بررسی برخی خصوصیات گرماسنجی ، گرماوزن‌سنجی و رئولوژیکی آن

صدیقه یزدان پناه[1*]، محسن عباسی[2]

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

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۷/۱

تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۸/۲۰

کلمات کلیدی:

خصوصیات بافتی،

جایگزین چربی،

کم‌کالری

DOI: 10.22034/FSCT.22.161.24.

* مسئول مکاتبات:

yazdanpanah2004@gmail.com

چکیده

ترانس گلوتامیناز میکروبی یک آنزیم از گروه ترانسفرازها بوده، که به صورت گسترده به منظور اصلاح ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌ها در مواد غذایی مختلف مورد استفاد قرار می‌گیرد. پیوندهای کووالانسی ایجاد شده توسط این آنزیم اثرات منحصر به فردی روی ظرفیت تشکیل ژل، پایداری حرارتی و ظرفیت نگهداری آب در پروتئین‌ها دارد. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر مقادیر مختلف آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی به عنوان جایگزین چربی بر ویژگی های گرماسنجی، گرماوزن‌سنجی ورئولوژیکی کیک اسفنجی کم‌کالری بوده است. برای این منظور هفت تیمار مختلف با ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد چربی کاهش یافته ۱۰ پی‌پی‌ام و۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز تولید شد. براساس نتایج حاصل حداکثر میزان پروتئین(۸.٤۳٪)، دانسیته ظاهری(۰/۷۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب)، دانسیته جسمی(۱/۱۹ گرم بر سانتی‌مترمکعب)، سختی(٤۰۳۳ گرم)، چسبندگی(۰/٦۱ مگاژول)، پیوستگی(۰/۷۳)، صمغیت (۲۹٤۳گرم)، آنتالپی دوم و قابلیت جویدن (۲۰٤/٦۲ مگاژول) در تیمار با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته مشاهده شد. کمترین آب آزاد در تیمار حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته مشاهده شد. تیمار با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم و ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته بهترین طعم، بو و رنگ را از نظر ارزیاب‌ها داشته است. مقدار پروتئین به دلیل حضور آنزیم ترانس گلوتامیناز در نمونه‌ها 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 نمی‌شود ولی با استفاده از آنزیم ترانس گلوتامیناز، می‌توان 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 بیماری های قلبی و عروقی و سرطان و چاقی وجود دارد. چربی بیشترین کالری (۹ کیلوکالری بر گرم) را در مقایسه با پروتئین و کربوهیدرات(٤ 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 $\frac{۲}{۳}$ انرژی روزانه باشد [۱]. یکی از روش‌های کاهش مصرف چربی استفاده از فرآورد های 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 ۳۷۳٦۸ دالتون که حاوی ۳۳۱ اسید آمینه است. این آنزیم می‌تواند بین اسیدآمینه 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 تغذیه ای پروتئین حاصل را نیز تغییر نمی دهد [٤]. در این راستا مطالعاتی صورت گرفته که به برخی از آنها اشاره می شود. رزاو همکاران (۲۰۱۲) آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی را به بستنی‌هایی با محتوی چربی ٤، ٦ و ۸ درصد اضافه کردند و ویژگی‌های رئولوژی، ضریب افزایش حجم، رفتار ذوب‌شدن و بافت آنها مورد ارزیابی قرار دادند. بستنی های حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی در مقایسه با نمونه‌های بدون آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، ضریب افزایش حجم بالاتری داشتند. همچنین آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی موجب افزایش شاخص رفتار جریان و ویژگی‌های سودوپلاستیک نسبت به نمونه فاقد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی شد. بستنی‌های با محتوای چربی ٤ و ٦ درصد که حاوی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی بودند نیز رفتاری مشابه با نمونه-های بستنی بدون آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی با سطح چربی ۸ درصد داشتند [۵]. دپیرو و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که ترانس گلوتامیناز قادر است راندمان پنیرسازی را از راه حفظ رطوبت در دلمه افزایش دهد [٦]. .گایوچ و همکاران (۲۰۰۹) اثر ترانس‌گلوتامیناز را بر ویژگی-های 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]. رودریگرز و همکاران (۲۰۱۲) از اینولین به عنوان جایگزین چربی در کیک اسفنجی استفاده کردند. در این تحقیق تأثیر استفاده از سطوح مختلف اینولین در فرمولاسیو ن 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 شورتنینگ در کیک استفاده کردند. آنها مشاهده نمودند با افزایش میزان جایگزینی از ۲۰ تا ٦۰ 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 همکاران (۲۰۰٦) عملکرد هیدروکلوئیدهای مختلف نظیر آلژینات سدیم، کاراگینان، پکتین، هیدروکسی‌پروپیل‌متیل-سلولز، صمغ لوکاست، گوار و صمغ زانتان را بر کیفیت کیک

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].تا کنون در زمینه استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامینازمیکروبی در کیک اسفنجی کم‌چرب پژوهشی انجام نگرفته است، لذا در این مطالعه به تولید کیک اسفنجی کم‌چرب با استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامینازمیکروبی و بررسی ویژگی‌های گرماسنجی، گرماوزن‌سنجی و رئولوژیکی آن پرداخته شده است.

۲-مواد و روش ها

۲-۱- مواد اولیه

آرد گندم سفید مخصوص تهیه کیک از کارخانه آرد ارس مهر تبریز، شکر آسیاب شده، روغن، وانیل، بیکینگ 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.

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.

۲-۲- روش تولید کیک

تهیه خمیر با روش شکر-خمیر بر اساس دستورالعمل جدول ۲ انجام می گردد [۱۲]. پس از تهیه ۱۵۰۰ گرم خمیرکیک، ۴۰ گرم خمیر در قالب‌های گالوانیزه به ابعاد مشخص (۴×۵×۸ سانتی‌متر) ریخته شد و به مدت ۴۵-۴۰ دقیقه در فر با دمای ۱۹۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد پخت گردید. پس از پخت کیک‌ها در دمای محیط به مدت ۴۵-۳۰ دقیقه خنک و سپس در بسته‌های پلی‌اتیلنی دانسیته سبک با درزبندی حرارتی بسته‌بندی و در دمای اتاق تا انجام آزمون-های بعدی نگهداری شد.

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

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 ۱/٦ 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 ۲٤۰ میلی‌لیترخمیر به ۲٤۰ میلی لیتر آب محاسبه شد [۱٤].

٤-۲- آزمون‌های کیک

۲-٤-۱- اندازه‌گیری رطوبت

رطوبت کیک با استفاده از روش AACC ٤٤-۱۱ اندازه-گیری شد. ۲ تا ۳ گرم از نمونه با دقت ۰/۰۱گرم در پلیت-هایی که از قبل به وزن ثابت رسیده‌اند توزین و پلیت‌ها در آون ۱۰۳درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٦۰ دقیقه قرار داده شد. پس از رسیدن نمونه‌ها به وزن ثابت در دسیکاتور پلیت‌ها توزین‌شده و با استفاده از رابطه زیر میزان رطوبت محاسبه شد [۱۵].

۱۰۰× (وزن نمونه/(کاهش رطوبت بر حسب گرم))=درصد رطوبت

۲-٤-۲- 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 ۰۱-۰۸ اندازه‌گیری شد [۱۵]. ۳ تا ۵ گرم از نمونه با دقت ۰۰۰۱ /۰ گرم درکروزه که از قبل به وزن ثابت رسیده و توین شده بود وزن شد و کروزه در کوره با دمای۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٦ -٤ 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:

۱۰۰× (وزن نمونه/(وزن باقیمانده))=درصد خاکستر

۲-٤-۳- اندازه‌گیری چربی

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

۲-٤-٤- اندازه‌گیری پروتئین

بر اساس بر اساس روش ۱۲-٤٦ 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. ۱گرم ازنمونه 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 ۵۰میلی‌لیتر NaOH بهمراه 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 تیتر و درصد پروتئین کل از رابطه زیر محاسبه شد.

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

۲-٤-۵- اندازه‌گیری حجم کیک

حجم کیک با استفاده از روش جابجایی دانه کلزا اندازه‌گیری شد [۱٤].

۲-٤-٦- اندازه‌گیری حجم ویژه

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

۲-٤-۷- اندازه‌گیری دانسیته ظاهری

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

۲-٤-۸- اندازه‌گیری دانسیته جسمی

دانسیته جسمی کیک با استفاده از روش پیکنومتری اندازه-گیری شد [۱۹].

۹-٤-۲- اندازه‌گیری تخلخل

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

(۱) دانسیته واقعی/دانسیته ظاهری- ۱=تخلخل

۲-٤-۱۰- 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 نواحیC ، C، B وD 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 وD هر کدام به فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از نقطه مرکزی قرار دارند (شکل ۱).

تقارن=۲C-B-D

یکنواختی=B-D

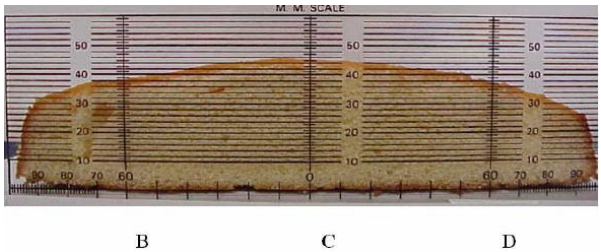

Figure 1- Transparent ruler used to measure cake symmetry and uniformity

۲-٤-۱۱- گرماسنجی (تجزیه حرارتی به روش DSC)

جهت اندازه گیری 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

بر دقیقه حرارت داده شده و به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰ درجه نگه داشته شدند. همچنین جهت تسریع رتروگراداسیون آمیلوپکتین به مدت ۱۵ دقیقه نیز در ٤ درجه‌سانتی‌گراد نگهداری شدند [۲۰].

۲-٤-۱۲- گرماسنجی (DSC) و گرما وزن سنجی(TGA)

۱۰میلی‌گرم نمونه در محل نمونه دستگاه قرار داده می‌شود ودما از ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد تا ۱۸۰ درجه‌سانتی‌گراد با اختلاف دمایی ۱۰درجه‌سانتی‌گراد 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 DSCاندازه‌گیری شد [۲۰].

۲-٤-۱۳- اندازه‌گیری بافت

خصوصیّات بافتی کیک‌های غنی‌شده پس از یک روز از زمان تهیه، توسط دستگاه بافت‌سنج اندازه‌گیری شد. پروب استوانه ای با قطر ٦ میلی‌متر، با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه و به عمق ۱۰ میلی‌متر جهت انجام آزمون نفوذ و بررسی خصوصیات بافتی کیک‌های تهیه شده انتخاب شد. سرعت رفت و برگشت پروب ۲ میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شد [۲۱].

۲-٤-۱٤- 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 کاملا تصادفی و در ۳ تکرار صورت گرفت. تجزیه وتحلیل آماری نتایج شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح آماری ۵درصد توسط نرم افزار SPSSانجام شد.

۳-بحث و نتایج

۳-۱- وزن مخصوص

جدول٤وزن مخصوص خمیر کیک نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان وزن مخصوص وجود دارد ($p\leq$۰/۰۵). تیمار F با ۱۰پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین (۲٤/۰۰۲±۱/۰گرم بر سانتی متر مکعب) میزان را برای وزن مخصوص کیک داشته است. هم چنین تیمار شاهد حداقل (۰۸/۰۰۲±۱/۰ 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 گازخمیر بیشتر می‌شود و حباب‌های گاز در خمیر از امکان به هم پیوستن و گسترش‌یافتن بیشتری برخوردارخواهند 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].

۲-۳-قوام

جدول ٤ قوام خمیر کیک نمونه‌های حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان قوام وجود دارد ($p\leq$۰/۰۵). اعداد بزرگتر ثبت شده نشان‌دهنده قوام کمتر خمیر است. تیمار E با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با سایر تیمارها کمترین (٤۰/٤۲±۰/۰۱ گرم بر ثانیه) میزان را برای قوام خمیر کیک داشته است. همچنین تیمار B با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و۲۵ درصد چربی

کاهش‌یافته حداکثر (۰/۰۱±۱/۲۱ 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، ۰/۳۸ گرم بر ثانیه گزارش کرده‌اند [۲۳]. بنابراین می‌توان گفت کاهش چربی به شدت باعث کاهش قوام خمیر کیک می‌شود [۲٤].

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/cm3)	Consistency (gr/s)
A (Control)	0.002 ^{c}±1.08	0.01 ^{d}±3.03
B	0.001^{c}±1.09	0.01 ^{d}±1.21
C	0.007^{b}±1.12	0.02 ^{a}±37.62
D	0.004 ^{b}±1.14	0.04 ^{c}±11.25
E	0.05 ^{b}±1.15	0.01 ^{a}±40.42
F	0.002 ^{a}±1.24	0.02 ^{b}±25.39
G	0.02 ^{b}±1.13	0.06 ^{b}±31.32

All numbers are mean ± standard deviation, different letters indicate significance at P≤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

جدول ۵ میزان پروتئین تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس درصدهای مختلف چربی کاهش‌یافته و آنزیم در سطح p≤۰/۰۵ نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان پروتئین وجود دارد. تیمار شاهد کمترین میزان پروتئین (۰/۰۲±۷/۱٦ درصد) را داشته است. تیمارG با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته و تیمار F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته به ترتیب با ۰/۰۷±۸/٤۳ و ۸/۰±۳٤/۰۲ درصد دارای بیشترین مقدار پروتئین بوده‌اند. افزایش مقدار پروتئین در تیمارها، به دلیل استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز 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 کربوکسی‌متیل‌سلولز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی کیک اسفنجی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن صمغ‌های زدو و کربوکسی‌متیل‌سلولز، باعث افزایش پروتئین نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد می‌گردد [۲۵].

٤-۳- چربی

جدول ۵ میزان چربی تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس درصدهای مختلف چربی کاهش‌یافته و آنزیم در سطح p≤۰/۰۵ نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان چربی وجود دارد. تیمار B با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته حداکثر میزان (۰/۰۱±۸۱/۰۱ درصد) چربی نهایی را داشته است. سایر تیمارها در مقایسه با تیمار شاهد دارای چربی کمتری بوده‌اند، تیمار F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته کمترین میزان چربی نهایی (۰/۰۸±٦۹/۰۸درصد) را داشته است. با افزایش میزان آنزیم درصد چربی کاهش بیشتری خواهد داشت. سگهال و

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].

۵-۳- رطوبت

جدول ۵ میزان رطوبت تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس درصدهای مختلف چربی کاهش‌یافته و آنزیم در سطح $p\leq$۰/۰۵ نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان رطوبت وجود دارد. تیمار F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با سایر تیمارها دارای بیشترین میزان (۰/۰۵±۰/۴۰ ۳۱ درصد) رطوبت نهایی بوده است. بعد از آن نیز تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته دارای حداکثر رطوبت بوده است، که علت این امر را می‌توان به سطح پایین چربی و عملکرد بهتر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نسبت داد. پوراسماعیل و همکاران () درمطالعه خود در زمینه افزودن آنزیم ترانس‌گلوتامیناز به نان، افزایش میزان رطوبت را با افزایش سطح آنزیم در فرمولاسیون گزارش نمودندکه با نتایج پژوهش ما مطابقت دارد [۲۷].

۶-۳-خاکستر

جدول ۵ میزان خاکستر تیمارهای مختلف کیک اسفنجی را بر اساس درصدهای مختلف چربی کاهش‌یافته و آنزیم در سطح $p\leq$۰/۰۵ نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی‌داری در میزان خاکستر وجود دارد. تیمار F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته و تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته به ترتیب حداکثر (۰/۰۴±۵/۳۸ و ۰/۰۶±۲/۷۰ درصد) میزان خاکستر نهایی را داشته‌اند. همچنین تیمار B با۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته دارای کمترین میزان (۰/۰۴±۰/۱۴درصد) خاکستر نهایی بوده است. نورمحمدی و همکاران (۲۰۱۲) درصد خاکستر کیک اسفنجی را ۰/۴۹ درصد گزارش کرده اند، که اندکی کمتر از درصد خاکستر در پژوهش حاضر است، این تفاوت را می توان به استفاده ازنوع 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}±7. 16	34.35±0.01 ^{b}	15.60 ± 0.30 ^{c}	0.57±0.04 $^{c, d}$
B	0.04 ^{b}±7. 60	43.81 ± 0.01 ^{a}	19.29±0.20^{b}	0.14 ± 0.04 ^{d}
C	0.05 $^{b, c}$±7. 58	29.69±0.02 ^{c}	18.47±0.06 ^{b}	0.60 ± 0.03 ^{c}
D	0.03 ^{b}±7. 76	14.03±0.02 ^{d}	21.43±0.20^{b}	0.92 ± 0.05 ^{c}
E	0.05 ^{b}±7. 75	12.95 ± 0.01 ^{d}	23.08 ± 0.03^{b}	0.85 ± 0.07 ^{c}
F	0.02 ^{a}±8. 34	12.69 ± 0.08 ^{d}	31.40±0.05 ^{a}	5.38±0.04 ^{a}
G	0.07 ^{a}±8. 43	13.60 ± 0.15 ^{d}	28.01 ± 0.01 ^{a}	2.70±0.06 ^{b}

All numbers are mean ± standard deviation, different letters indicate significance at P≤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.

۷-۳- حجم

جدول ۶ میزان حجم 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 وجود دارد. در اکثر تیمارها میزان حجم نسبت به تیمار شاهد (۱/۱۵±۱۲۵/۰۰ سانتی‌متر مکعب) اندکی کاهش داشته است، که این کاهش را می‌توان به ایجاد اتصالات عرضی در اثر حضور آنزیم ترانس‌گلوتامیناز نسبت داد. فقط در تیمار C با ۲۰ آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته، حجم کیک نهایی اندکی بیشتر از تیمار

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 ٦ 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$۰/۰۵). وزن کیک فقط در تیمار F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد اندکی کاهش داشته است. اما در سایر تیمارها این فاکتور در مقایسه با تیمار شاهد به صورت معنی‌داری افزایش داشته است($p\leq$۰/۰۵). 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].

۹-۳- حجم ویژه

جدول٦ 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$۰/۰۵). 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 (۰/۰۳±۱/۲۸سانتی متر مکعب بر گرم) حجم ویژه بوده است. مهربان شندی و همکاران (۲۰۱۳) طی پژوهشی از آنزیم ترانس گلوتامیناز در فرمولاسیون کیک اسفنجی در سطوح مختلف استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد آین آنزیم باعث کاهش حجم مخصوص کیک می‌شود، نتایج پژوهش آنان با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد [۳۰].

۱۰-۳- تقارن

جدول٦ میزان تقارننمونه های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. بین تیمارها اختلاف معنی داری در میزان تقارن وجود دارد ($p\leq$۰/۰۵). 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 (۱/۱۵±۲٦/۰۰ و۰/۵۷±۲٤/۰۰میلی‌متر) تقارن نهایی بوده‌اند. افزایش نگهداری گاز به دلیل وجود پروتئین (آنزیم ترانس‌گلوتامیناز) است. همچنین پخش و پراکندگی ذرات ظریف روی پروتئین اثر می‌گذارد و باعث ژلاتیناسیون بیشتر نشاسته و درنتیجه 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

شیمیایی پوک‌کننده عمل نمایند. توزیع یکنواخت حباب‌های هوا باعث بهبود تقارن و یکنواختی کیک می‌شود. روش مخلوط‌کردن شکر-خمیر نیز بر تقارن تاثیر مستقیم دارد. نتیجه مشابهی توسط پیغمبردوست (۱۳۸۸) گزارش شده است [۱۲].

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 (cm3)	Weight (gr)	Specific volume (cm3/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≤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.

۱۱-۳- دانسیته ظاهری

جدول۷ میزان دانسیته ظاهری نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. در تمام تیمارها میزان دانسیته ظاهری کیک در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داشته است($p\leq$۰/۰۵). تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس-گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته حداکثر میزان (۰/۰±۷۷/۰۱ گرم بر سانتی متر مکعب) دانسیته ظاهری را داشته است. بر اساس نتایج پژوهش دس‌روسرچ و همکاران (۲۰۰٤) دانسیته ظاهری با حجم کیک رابطه عکس داشته و با افزایش حجم کیک دانسیته ظاهری به صورت قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند [۳۱]. بنابراین تیمار G که کمترین حجم را داشته است، دارای بیشترین دانسیته ظاهری بوده است.

۱۲-۳- دانسیته جسمی

جدول۷ میزان دانسیته جسمی نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامینازو چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. در اکثر تیمارها میانگین دانسیته جسمی کیک نسبت به تیمار شاهد اندکی کاهش یافته است، ولی اختلاف آن‌ها معنی‌دار نمی باشد($p\leq$۰/۰۵). میانگین دانسیته جسمی تیمار شاهد ۱/۲۰±۰/۰۰۱ گرم بر 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 نداشته‌اند؛ دانسیته جسمی نیز تغییرات زیادی نداشته است، که با نتایج پور صفر و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد [۳۲].

۱۳-۳- تخلخل

جدول۷ میزان تخلخل نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. در همه تیمارها درصد تخلخل کیک به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار کنترل کاهش‌یافته است ($p\leq$۰/۰۵). تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس-گلوتامیناز و۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته دارای کمترین درصد تخلخل (۱/٦۰±۳٤/۹٤درصد) بوده است. پائین بودن میزان تخلخل نمونه‌های تیمار شده، به این دلیل است که شبکه‌ای مستحکم دراین نمونه ها مانع ورود حباب‌های هوا در طی هم‌زدن می‌شود. زیبرو و همکاران (۲۰۱۲) از مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در فرمولاسیون نان استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند، که این آنزیم تا حدودی می-تواند باعث افزایش تخلخل نمونه‌ها شود. که با نتایج پژوهش

حاضر مطابقت ندارد، دلیل این عدم تطابق را می‌توان 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	Aapparent 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≤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.

۱۴-۳- خواص بافتی کیک

جدول ۸ میانگین ویژگی‌های بافتی نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس‌گلوتامینازو چربی کاهش-یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. در هر ٦ فاکتور بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد (p≤۰/۰۵). تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین (مقدار۲/۳۰±۰۰/ ٤۰۳۳ گرم) میانگین را برای سختی بافت داشته است. هم چنین تیمار C با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس گلوتامیناز و ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته حداقل (۱۸۱۰/۱±۰۰/۱۵ گرم) میزان سختی را داشته است. کپلمن و دجانگ (۲۰۰۲) با انجام پژوهشی به این نتیجه رسیدند، که استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز می‌تواند باعث ایجاد اتصالات عرضی در گلوتن موجود در آرد شود، که این امر می‌تواند منجر به پلیمرهای با وزن مولکولی بالا شود. تشکیل این دسته از پلیمرها می‌تواند منجر به استحکام هر چه بیشتر شبکه ایجاد شده توسط گلوتن شده و بنابراین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی و رئولوژیکی مطلوبی ایجاد می‌کند. که با 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 غیرمستقیمی با حجم کیک دارد به طوریکه هر چه دانسیته افزایش یابد، استحکام و مقاومت کیک نیز بیشتر می‌شود و بنابراین میزان سختی نیز افزایش می‌یابد. رتروگراداسیون محصولات قنادی بلافاصله پس از اتمام پخت و شروع سردکردن محصول اتفاق می‌افتد. این فرایند وابسته به فرمولاسیون محصول، شرایط تولید و نگهداری می‌باشد. تاثیر بیاتی در محصولات قنادی شامل تغییرات در بافت، پوسته، مغز، از دست‌دادن رطوبت و عطر وطعم می-باشد. در طی بیاتی مولکول‌های نشاسته به شدت به یکدیگر می‌پیوندند و سبب بیرون‌راندن آب از شبکه می‌گردند. علت افزایش سختی را می‌توان به رتروگراداسیون نشاسته در طول دوره نگهداری نسبت داد که با افزایش میزان بیاتی، سختی نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش میزان اجزای خشک خمیر محصولی متراکم‌تر و غلیظ‌تر تولید می‌شود [۳٤].

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

گلوتامیناز و ۲۵درصد چربی کاهش‌یافته با ۰/۰۱±۰/۲۸ دارای حداقل میزان چسبندگی بوده است. تیمارحاوی۲۰ پی-پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته دارای بیشترین مقدار ۰/۰۲±۰/٦۱ چسبندگی نهایی بوده است.

درتیمارهای حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با۵۰ درصدچربی کاهش‌یافته، ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز با۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته و ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس-گلوتامیناز با۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته نسبت به تیمار شاهد میزان پیوستگی افزایش پید اکرده است. در سایر تیمارها پیوستگی نسبت به تیمار کنترل کاهش یافته است. رنزیتی و همکاران (۲۰۰۷) طی پژوهش خود اعلام کردند که، استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی در مواد غذایی باعث بهبود پیوستگی می‌شود. که با نتایج این پژوهش تا حدودی مطابقت دارد [۳۵].

تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین (۰/۰۲±۷/۲٦ میلی‌متر) میانگین را برای الاستیسیته بافت داشته است. هم-چنین تیمار C با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته حداقل (۰/۰۱±٦/۳۰ میلی‌متر) میزان الاستیسیته را داشته است. افزایش حالت ارتجاعی، انسجام و انعطاف‌پذیری می‌تواند منعکس‌کننده افزایش حجم مخصوص و هوادهی بهتر باشد. مشخص‌شده است که حالت ارتجاعی بالا نشان از تازگی،هوادهی و حالت الاستیک مناسب محصول دارد [۳۵ و۳٤] .

در تیمارهای حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام و ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته مقدار صمغیت نسبت به تیمار کنترل افزایش داشته است. اما در سایر تیمارها میزان صمغی‌بودن بافت نسبت به تیمار کنترل کاهش داشته است.

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

تیمارحاوی۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته دارای حداقل مقدار ۱/۱۸±۷۹/۷۵ ژول قابلیت جویدن بوده است.

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 ± 4/04 [b]	0.45 ± 0.01 [b]	0.67 ± 0.005 [a]	7.26 ± 0.02 [a]	1.67 [b]±1872.80	133.34 ± 1.17 [b]
B	2559/00 ± 2/88[b]	0.32 ± 0.01 [c]	0.65 ± 0.005 [b]	7.15±0.02[a]	0.51 [b]±1651.15	115.77±0.61 [b]
C	1810.00 ± 1/15 [c]	0.28±0.01 [c, d]	0.71 ± 0.01 [a]	6.30±0.01 [c]	1.68 [c]±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 ± 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 ± standard deviation, different letters indicate significance at P≤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≤۰/۰۵ نشان می-دهد.آنتالپی معیاری از کمیت و کیفیت کریستال‌ها و از دست دادن نظم مولکولی درون گرانول‌هاست. .بر اساس داده‌های موجود در این جدول تیمارحاوی ۱۰ پی‌پی‌ام 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

درصد چربی کاهش‌یافته کمترین میزان آنتالپی اول (۱۰۶/۱±۸۹/۰۰-) را داشته است. تیمارهای حاوی ۲۰ پی-پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته بیشترین میزان آنتالپی اول (۱/۰۰±٦٦/۱۸-) را داشته است. تیمارحاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته کمترین میزان آنتالپی دوم (۰/۷۱±۲۸۱٤/۳۹-) را داشته است. تیمارهای حاوی ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته بیشترین میزان آنتالپی دوم (۱/۰۰±۱۹۳۳/۵۷ -) 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 ترانس گلوتامیناز سبب افزایش انعطاف‌پذیری ساختمانی شده است [۳٦].

تیمارحاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته کمترین میزان آب آزاد (۰/۰۰±۲۲/۲۱٪) را داشته است. تیمارهای حاوی ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته بیشترین میزان آب آزاد (۰/۰۰±۲٦/٦۲٪) را داشته است. تیمار حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته و تیمارهای حاوی ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ و ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته بیشترین میزان آب باند شده (۰۰/۰۰±۱٪۲۹) را داشته‌اند. تیمارهای حاوی ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم با ۲۵ درصد چربی کاهش‌یافته کمترین میزان آب باند شده (۱/۰۰±۲٤/۲۱٪) را داشته است. درسال ۲۰۰۲، پیتراسیک پژوهشی در مورد اثرآنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر روی خصوصیات بافتی برگرهای 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].

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≤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.

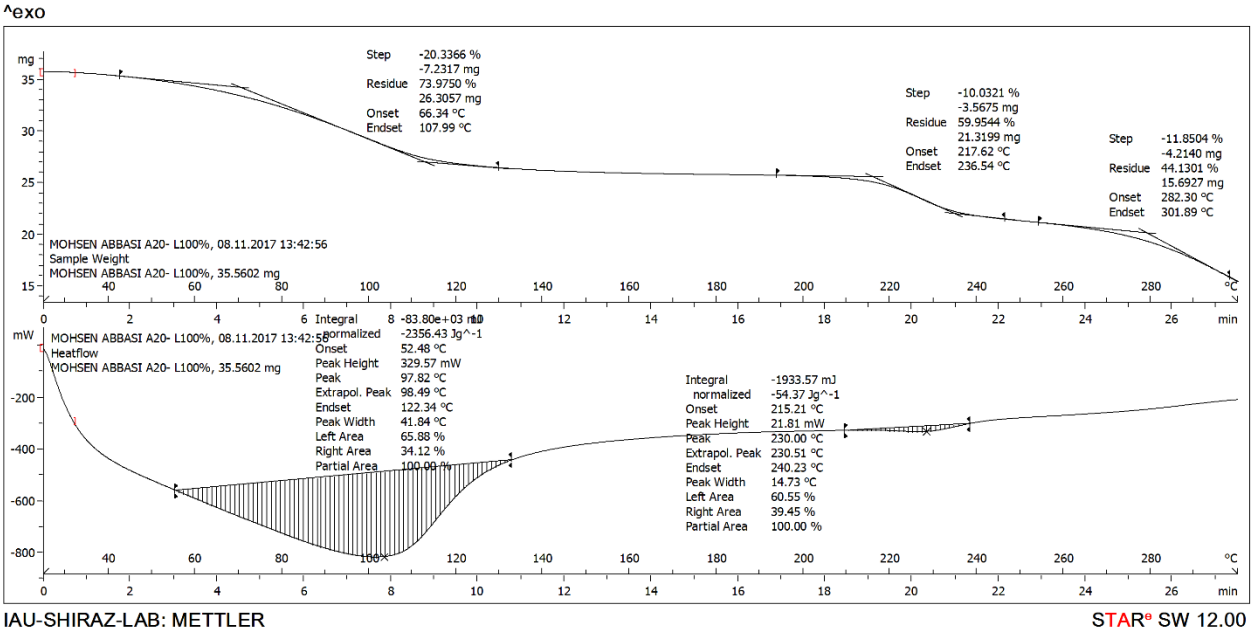

Figure 2- An example of differential calorimetry in a sample of sponge cake produced with dough containing microbial transglutaminase enzyme and reduced fat (Treatment G: 20 ppm transglutaminase and 100% reduced fat).

۱۶-۳- ارزیابی حسی

جدول ۱۰ میانگین نمره ارزیابی حسی بو، طعم و رنگ نمونه‌های کیک اسفنجی حاوی مقادیر مختلف آنزیم ترانس-گلوتامیناز و چربی کاهش‌یافته در مقایسه با تیمار شاهد را نشان می‌دهد. در هر ۳ فاکتور بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود دارد($p\leq$۰/۰۵). تیمار D با ۱۰پی‌پی‌ام آنزیم ترانس-گلوتامیناز 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 ترانس-گلوتامیناز و۱۰۰درصد چربی کاهش‌یافته حداقل (۲/۶۷) میانگین را برای ارزیابی حسی بو داشته است. پایین‌بودن 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 و۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین (۸/۴۷) میانگین را برای ارزیابی حسی طعم داشته است. هم چنین تیمار شماره G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و۱۰۰ 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 مصرف-کنندگان از طعم کیک نسبتا کاهش داشته است. تیمار D با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و۵۰ درصد چربی کاهش-یافته 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 و۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته حداقل (۱/۱۳) میانگین را برای ارزیابی حسی رنگ داشته است. بر اساس پژوهش ایدورا و همکاران (۲۰۰۷) علت تیره‌ترشدن رنگ کیک در تیمارهای F با ۱۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش-یافته ، تیمارE با۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۵۰ درصد چربی کاهش‌یافته و تیمار G با ۲۰ پی‌پی‌ام آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۱۰۰ درصد چربی کاهش‌یافته را می‌توان

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 enzyme 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≤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.

۵-منابع

[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 utilizationin 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 Nematti, 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] Pyghambardoost, S. H. (2009). Technology of cereal products, second volume. Publications of Tabriz University of Medical Sciences.
[13] Pierece, 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 prepared with erythritol as replacement for sucrose. Journal of Food Science68, 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 reducedcalorie 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., Chauhano, 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., Peyghambardoust, 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

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.

[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.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

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 Aabbasi[2]

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

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

ABSTRACT

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.