بررسی بیاتی کیک بدون گلوتن تهیه شده از آرد ارزن تیمار شده حرارتی - رطوبتی

بهاره فتحی[1]، مهران اعلمی[2*]، مهدی کاشانی‌نژاد[3]، علیرضا صادقی ماهونک[2]

1- دانشجوی دکتری دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
2- دانشیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
3- استاد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: 95/09/14 **تاریخ پذیرش**: 96/03/23)

چکیده

در این پژوهش، تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن پروسو بر روی خصوصیات بافتی کیک بدون گلوتن در طول نگهداری بررسی شد. آرد ارزن با مقادیر مختلف رطوبت (20 درصد و 30 درصد) در دو دمای متفاوت (100 درجه سانتیگراد و 120 درجه سانتیگراد) تیمار شد و سپس مقادیر مختلف (0 تا 100 درصد) آرد تیمار شده در فرمولاسیون کیک استفاده گردید. حجم مخصوص، پذیرش حسی، ریزساختار، میزان رطوبت و پارامترهای بافتی مغز کیک در روز پخت و روزهای سوم، ششم و نهم نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تیمار حرارتی-رطوبتی و همچنین افزایش میزان آرد تیمار شده، مقدار رطوبت مغز کیک در روز پخت افزایش یافت. کیک‌های حاوی آرد تیمار شده در رطوبت 30 درصد و دمای 100 درجه سانتیگراد دارای حجم بیشتر و نرمترین بافت بودند اما کیک‌های تهیه شده از آرد تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتیگراد دارای بافت فشرده و متراکم با بیشترین میزان سفتی بودند. با افزایش زمان نگهداری، میزان رطوبت مغز کیک کاهش و سفتی آن افزایش یافت و تیمار حرارتی-رطوبتی نتوانست از میزان افت رطوبت و سفت شدن کیک طی نگهداری بکاهد. با استفاده از آرد تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی، بهبودی در انسجام و حالت ارتجاعی کیک در روز پخت مشاهده نشد اما در طی دوره نگهداری 9 روزه، کاهش بیشتری در میزان انسجام و قابلیت ارتجاعی نمونه شاهد مشاهده گردید. یافته‌های این مقاله شواهدی را فراهم می‌کند مبنی بر این که تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن می‌تواند موجب بهبود کیفیت کیک حاصله گردد.

کلیدواژگان: آرد ارزن، کیک بدون گلوتن، سفتی، ریزساختار، بیاتی

* مسئول مکاتبات: mehranaalami@gmail.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

1- مقدمه

امروزه تولید محصولات نانوایی بدون گلوتن برای افراد مبتلا به سلیاک یکی از چالش‌های مهم برای متخصصین صنایع غذایی می‌باشد. سلیاک، بیماری عدم تحمل به فراکسیون گلیادین گندم و پرولامین چاودار (سکالین)، جو (هوردئین) و احتمالاً جو دوسر (آویدین) است. مصرف گلوتن به وسیله بیماران مبتلا به سلیاک موجب التهاب روده کوچک و تخریب پرزهای روده می‌شود که منجر به سوء جذب چندین ماده مغذی مهم از جمله آهن، اسید فولیک، کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی می‌گردد. بررسی-های اپیدمیولوژی اخیر نشان داده که شیوع این بیماری 1 درصد در همه جوامع در سرتاسر دنیا است. تنها درمان مؤثر برای بیماری سلیاک، استفاده از رژیم غذایی بدون گلوتن در طول عمر بیمار است. به همین منظور می‌توان از غلات بدون گلوتن (برنج، ذرت، سورگوم و ارزن) در تولید محصولات نانوایی بدون گلوتن استفاده نمود [1].

ارزن یکی از مهم‌ترین محصولات مقاوم به خشکسالی، آفت و بیماری می‌باشد. با افزایش جمعیت جهان و کاهش منابع آب، این محصول کشاورزی برای استفاده انسان در آینده اهمیت زیادی پیدا می‌کند. دانه‌های ارزن فاقد گلوتن بوده و علاوه بر ارزش تغذیه‌ای‌شان دارای پتانسیل بهبود سلامت انسان هستند از جمله جلوگیری از سرطان و بیماری‌های قلبی-عروقی، کاهش شیوع تومور، کاهش فشار خون و کلسترول. با توجه به افزایش تقاضای محصولات بدون گلوتن برای بیماران سلیاک، می‌توان از آرد ارزن در تهیه این محصولات استفاده نمود [2 و 3].

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در مورد نان‌های بدون گلوتن صورت گرفته است اما تنها تعداد محدودی از بررسی‌ها روی سایر محصولات بدون گلوتن از جمله کیک، کلوچه، بیسکویت، پاستا و نودل وجود دارد. کیک‌ها محصولات نانوایی مهمی هستند و رشد بازار جهانی آن‌ها در حال حاضر حدود 1/5 درصد در سال می‌باشد. چالش‌های بازار کیک شامل کاهش هزینه، افزایش عمر ماندگاری و کنترل کیفیت است [4]. با توجه به این که کیفیت محصولات نانوایی بدون گلوتن (ساختار، احساس دهانی، قابلیت پذیرش و عمر ماندگاری) پایین‌تر از محصولات حاوی گلوتن می‌باشد، از این رو تولید و بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن جدید یکی از چالش‌های مهم در صنعت غذا می‌باشد. بیشتر تحقیقات در زمینه محصولات بدون گلوتن روی استفاده از غلات بدون گلوتن، نشاسته‌ها، پروتئین‌ها، هیدروکلوئیدها و بهبود آنزیمی این فرمولاسیون‌ها تمرکز کرده‌اند [5]. به طور متداول، در صنعت از آردهای خام و بدون تغییر استفاده شده است. با این حال می‌توان آردها را در معرض تیمارهای فیزیکی مختلف (از جمله انواع تیمارهای حرارتی خشک و مرطوب) قرار داد که درنتیجه کارایی آرد را تغییر داده و آن را برای فرمولاسیون‌های بدون گلوتن مختلف مناسب ساخت. با این حال اطلاعات کمی در مورد استفاده از تیمار فیزیکی برای اصلاح ویژگی‌های عملکردی آردهای مورد استفاده در محصولات بدون گلوتن در دسترس می‌باشد [6].

تیمار حرارتی-رطوبتی یک شیوه کم هزینه و ایمن برای اصلاح فیزیکی نشاسته می‌باشد. در این تیمار، آرد غلات یا گرانول‌های نشاسته با میزان رطوبت کم (معمولاً کمتر از 35 درصد) در دماهای بالا (120-84 درجه سانتیگراد) به مدت مشخص (15 دقیقه تا 16 ساعت) حرارت داده می‌شوند [7]. تیمار حرارتی-رطوبتی ساختار گرانولی نشاسته را تخریب نمی‌کند اما کریستالینیتی، ویژگی‌های هیدراسیون آب، ویسکوزیته، رفتار ژلاتینیزاسیون و حساسیت آن به آنزیم‌ها و اسیدها را تغییر می-دهد. بنابراین آرد یا نشاسته تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی می‌تواند برای تولید محصولات مختلف به کار برده شود [8]. تاکنون بسیاری از محققین تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی انواع نشاسته را بر روی ساختار و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها بررسی کرده‌اند [7]. به دلیل هزینه بالا و مقدار زیاد نشاسته لازم برای تیمار حرارتی-رطوبتی، مطالعات کمی بر روی پتانسیل پخت آن‌ها صورت گرفته است حال آن که می‌توان تیمار را بر روی آرد و یا خود دانه‌ها انجام داد [9]. لورنز و کالپ (1981) پتانسیل پخت نشاسته‌های گندم و سیب‌زمینی تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی را برای نان و کیک ارزیابی کردند. آن‌ها گزارش کردند که کیفیت نان و کیک تهیه شده از نشاسته سیب‌زمینی تیمار شده بهبود یافت اما استفاده از نشاسته گندم تیمار شده موجب کاهش کیفیت نان و کیک گردید [10]. میازاکی و موریتا (2005) اظهار داشتند که افزودن 20 درصد نشاسته ذرت تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی به نان گندم کیفیت نان را کاهش

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

داد. با این حال حجم نان حاوی نشاسته تیمار شده و شورتنینگ افزایش یافت اما سفتی نان تغییری نکرد [9]. ویدیا و همکاران (2013) آرد برنج، سورگوم، ارزن انگشتی و مرواریدی را تحت فشار اتاق به مدت 20 دقیقه بخار زدند و دریافتند که خمیرهای ارزن مرواریدی و سورگوم تیمار شده و سپس برنج و ارزن انگشتی تیمار شده خصوصیات مطلوب نشان دادند و از نظر بافت کاملاً به چاپاتی گندم نزدیک بودند [11]. اخیراً نشاسته و آرد برنج و سورگوم به وسیله تیمار حرارتی-رطوبتی اصلاح شدند و مشخص شد که تیمار حرارتی-رطوبتی تأثیر بیشتری روی آرد سورگوم و برنج نسبت به نشاسته داشت. علاوه بر نشاسته، پروتئین‌ها نیز نقش مهمی در تغییر ویژگی‌های آرد اصلاح شده بازی می‌کنند [12 و 13].

بیاتی فاکتور مهمی است که عمر انبارمانی کیک را قبل از فساد میکروبی تعیین می‌کند. بیاتی کیک در طول نگهداری عبارت است از افزایش سفتی مغز که از دو مکانیسم نتیجه می‌شود: مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته و رتروگراداسیون نشاسته [14]. مطابق با نظر سیحون و همکاران (2005) کریستالیزاسیون مجدد نشاسته موجب افزایش سفتی مواد دیواره سلولی شده و فرض بر این است که مسئول سفت شدن مغز بیات می‌باشد [15]. به دلیل نسبت‌های بالاتر شکر و شورتنینگ در کیک، سرعت بیاتی نسبت به نان آهسته‌تر است. با این حال بیاتی هنوز به عنوان یک مشکل در تولید کیک و پذیرش مصرف‌کننده وجود دارد [14]. کاراوغلو و همکاران (2001) و سیحون و همکاران (2005) در تحقیقات خود از نشاسته‌های مختلف برای بهبود کیفیت کیک استفاده کردند. نتیجه مشترکی که از هر دو تحقیق می‌توان مشاهده نمود این است که نشاسته‌های پیش‌ژلاتینه برای کاهش سفتی کیک‌ها در طول نگهداری و به تأخیر انداختن بیاتی مؤثر بودند [15 و 16]. با توجه به این که تاکنون از آرد ارزن پروسو به عنوان جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون کیک استفاده نشده است در این تحقیق از آرد ارزن جهت تهیه کیک بدون گلوتن استفاده شد. هم‌چنین تأثیر جایگزینی مقادیر مختلف آرد ارزن با آرد ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی (در شرایط مختلف) بر روی حجم مخصوص، میزان رطوبت و ویژگی‌های بافتی کیک در زمان نگهداری بررسی گردید.

2- مواد و روش‌ها

2-1- مواد

ارزن مورد استفاده در این تحقیق از نوع ارزن پروسو (*Panicum miliaceum L.*) بود و با استفاده از آسیاب سنگی پوست‌گیری شد. دانه‌های ارزن پوست‌گیری شده بعد از جدا کردن مواد زائد و خارجی، با آب شسته شده و سپس در آون 45 درجه سانتیگراد خشک شدند. آرد ارزن با استفاده از آسیاب چکشی و عبور از الک با مش استاندارد 80 تهیه گردید. آرد ارزن در دمای 4 درجه سانتیگراد تا زمان استفاده نگهداری شد. شکر، روغن آفتابگردان، تخم مرغ تازه، بیکینگ پودر و وانیل از فروشگاه‌های معتبر مواد غذایی تهیه شد.

2-2- تیمار حرارتی-رطوبتی

برای تنظیم محتوی رطوبت آرد ارزن به 20 درصد یا 30 درصد، مقدار کافی از آب مقطر به آرد ارزن اسپری شد و کاملاً مخلوط گردید. برای به تعادل رسیدن رطوبت، نمونه‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی در 4 درجه سانتیگراد به مدت یک شب نگهداری شدند. سپس آردهای مرطوب شده در ظروف شیشه‌ای درب‌دار ریخته شده و در یک آون هوای داغ (Memmert، مدل UFE 500، آلمان) در دماهای مختلف (100 یا 120 درجه سانتیگراد) به مدت 3 ساعت حرارت داده شدند. بعد از حرارت‌دهی، آردها را از ظروف خارج کرده و در آون 40 درجه سانتیگراد تا رسیدن به رطوبت حدود 9 درصد خشک گردیدند. نمونه‌ها آسیاب شده و از الک با مش استاندارد 80 عبور داده شدند و سپس در کیسه-های پلی اتیلنی بسته‌بندی شدند [12].

2-3- تهیه کیک

کیک‌های پخته شده در این تحقیق از نوع نسبت پایین بوده و با استفاده از روش بنیون و بمفورد (1997) با کمی تغییرات تهیه شدند [17]. روغن آفتابگردان (57 گرم) و شکر (72 گرم) با استفاده از همزن به مدت 3 دقیقه با سرعت کم و سپس 3 دقیقه با سرعت متوسط کاملاً مخلوط و کرم شد. تخم مرغ کامل (72 گرم) به تدریج به مخلوط اضافه و 2 دقیقه با سرعت کم و سپس 2 دقیقه با سرعت متوسط همزده شد. آرد ارزن (100 گرم) که با بیکینگ پودر (2 گرم) و وانیل (1 گرم) الک شده بود، به طور

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

همزمان با آب به خمیر اضافه شد و 1 دقیقه با سرعت کم مخلوط گردید. خمیر کیک در قالب‌های پخت ریخته شده و کیک‌ها در آون 170 درجه سانتیگراد به مدت 30 دقیقه پخته شد. بعد از پخت، کیک‌ها از قالب خارج شده و در دمای اتاق به مدت 1 ساعت خنک شدند. در نهایت کیک‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی شده و در 25 درجه سانتیگراد تا زمان آزمون نگهداری شدند. کیک تهیه شده از آرد ارزن تیمارنشده به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. برای بررسی تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی بر خصوصیات کیک، مقادیر 25، 50، 75 یا 100 درصد از آرد ارزن با آرد ارزن تیمار شده جایگزین گردید.

2-4- اندازه‌گیری حجم مخصوص

حجم کیک به وسیله روش جابجایی دانه‌های کلزا تعیین شد. در این روش ابتدا وزن حجم معینی از دانه‌های کلزا تعیین شد. با توجه به وزن و حجم دانه‌ها، دانسیته توده‌ای کلزا مشخص شد. سپس نمونه مورد نظر و دانه‌های کلزا با هم در یک ظرف با ابعاد مشخص قرار گرفته شده و توزین شد و حجم کیک طبق رابطه 1 مشخص گردید. در نهایت حجم مخصوص کیک با تقسیم حجم کیک بر وزن آن محاسبه شد [18].

$$\text{حجم} = \frac{(\text{وزن ظرف+کیک})-(\text{وزن ظرف+کلزا+کیک})-\text{وزن ظرف پر از کلزا}}{\text{دانسیته کلزا}}$$

2-5- پذیرش حسی

کیک‌ها از لحاظ پذیرش کلی به وسیله 15 ارزیاب نیمه آموزش دیده از دانشجویان تحصیلات تکمیلی صنایع غذایی دانشگاه گرگان (9 زن و 6 مرد با محدوده سنی 40-20 سال) ارزیابی شد. ارزیابی حسی در یک اتاق با نور فلورسنت و دمای کنترل‌شده 6 ساعت بعد از پخت کیک انجام گردید. نمونه‌ها در بشقاب پلاستیکی سفید با کد سه رقمی تصادفی برای ارزیاب‌ها سرو شدند. ارزیاب‌ها نمونه‌ها را بدون ترتیب خاص و به صورت تصادفی ارزیابی کرده و آب برای شستن دهان جهت حذف اثرات باقیمانده بین نمونه‌ها در اختیارشان قرار گرفت. کیک تهیه شده از آرد گندم نیز همراه با سایر نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. از ارزیاب‌ها خواسته شد که نمونه‌ها را ارزیابی کرده و آن‌ها را بر اساس پذیرش کلی در مقیاس 9 نقطه‌ای (1= بسیار نامطلوب، 5= نه مطلوب و نه نامطلوب، 9= بسیار مطلوب) نمره-دهی کنند [19].

2-6- تعیین میزان رطوبت

5 گرم از مغز کیک در ظرف فلزی مخصوص اندازه‌گیری رطوبت که از قبل به وزن ثابت رسیده و توزین شده، ریخته و در آون با دمای 105 درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از رسیدن وزن نمونه به وزن ثابت، ظرف حاوی نمونه در دسیکاتور سرد و توزین شد. میزان رطوبت با استفاده از رابطه 2 محاسبه شد [18]. اندازه‌گیری رطوبت کیک در همان روز پخت، سه، شش و نه روز پس از پخت طی نگهداری انجام شد.

$$\text{درصد رطوبت} = \frac{(W1-W2)}{m} \times 100$$

W1: وزن اولیه نمونه و ظرف (گرم) ؛ w2: وزن ظرف و نمونه پس از رسیدن به وزن ثابت (گرم) ؛ m: وزن نمونه (گرم)

2-7- ارزیابی بافت کیک

ارزیابی بافت مغز کیک در روز پخت، روز سوم، ششم و نهم بعد از پخت با استفاده از آزمون آنالیز پروفایل بافت (TPA) به وسیله دستگاه بافت‌سنج (Stable Micro Systems Ltd، مدل TA-TX Plus، انگلستان) با نرم‌افزار Texture Expert صورت گرفت. برای انجام این آزمون، ابتدا پوسته کیک جدا گردید و سپس یک قطعه مکعبی با ابعاد 20×20×20 میلی‌متر از بخش مرکزی مغز کیک برش داده شد. با استفاده از یک پروب استوانه‌ای آلومینیومی (قطر 25 میلی‌متر)، به اندازه 10 میلی‌متر (50%) از بافت مغز کیک فشرده شد. سرعت نیروی وارد شده حین آزمون، 2 میلی‌متر بر ثانیه و زمان تأخیر بین دو سیکل، 30 ثانیه بود. شاخص‌های سفتی، انسجام و حالت ارتجاعی با استفاده از منحنی نیرو-زمان محاسبه شدند [20].

2-8- بررسی ریزساختار کیک

آنالیز ریزساختار کیک با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شد. از مغز کیک، نمونه‌هایی با ابعاد 10×10×10 میلی‌متر برش داده شده و با استفاده از هگزان چربی‌گیری شدند و بعد به وسیله خشک‌کن انجمادی خشک شدند. نمونه‌ها به صورت جداگانه با استفاده از نوار چسب دو طرفه بر روی قسمت نگهدارنده نمونه در دستگاه ثابت گشته و سپس با لایه نازکی از طلا تحت خلأ پوشانده شدند. در نهایت، نمونه کیک به

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

میکروسکوپ منتقل شد و در طول ریزنگاری از ولتاژ شتاب-دهنده 10 کیلوولت استفاده گردید.

2-9- آنالیز آماری

در این پژوهش، تأثیر فاکتورهای مختلف شامل رطوبت تیمار حرارتی-رطوبتی، دمای تیمار حرارتی-رطوبتی و سطح جایگزینی آرد تیمار شده در فرمولاسیون کیک بر روی خصوصات کیک به وسیله طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آنالیز واریانس و آزمون‌های چند دامنه-ای دانکن در سطح α=0/05 به وسیله نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گردید.

3- نتایج و بحث

3-1-حجم مخصوص کیک

حجم کیک یکی از خصوصیات کیفی مهم می‌باشد به طوری که کیک‌های با حجم بیشتر مقبولیت بیشتری از نظر مصرف‌کنندگان دارند. داده‌های حجم مخصوص نشان داد که آرد تیمار شده حرارتی-رطوبتی حجم کیک را به طور معنی‌داری تغییر داد (جدول1).

حجم مخصوص کیک‌های حاوی مقادیر مختلف آرد تیمار شده در 20 درصد رطوبت و 100 درجه سانتیگراد تفاوتی با حجم مخصوص کیک ارزن تیمار نشده نداشتند. آردهای تیمار شده در 20 درصد رطوبت و 120 درجه سانتیگراد و نیز 30 درصد و 100 درجه سانتی‌گراد حجم مخصوص کیک را بهبود دادند در حالی که آرد ارزن تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتیگراد حجم مخصوص را کاهش داد. این افزایش حجم می-تواند ناشی از افزایش ویسکوزیته و ورود و نگهداشت هوا در خمیر باشد [20]. با این حال کاهش حجم مخصوص کیک‌های حاوی آرد تیمار شده در 30 درصد و 120 درجه سانتیگراد ممکن است به دلیل ویسکوزیته بیش از حد خمیر باشد که از انبساط خمیر در آون جلوگیری می‌کند [21].

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که دمای تیمار حرارتی-رطوبتی و میزان آرد تیمار شده بر حجم مخصوص کیک تأثیر معنی‌دار دارند. اثر متقابل دما و رطوبت نیز معنی‌دار بود و نشان می‌دهد که تأثیر دما بر حجم مخصوص کیک به میزان رطوبت بستگی دارد. با افزایش دمای تیمار در آرد با رطوبت 20 درصد حجم مخصوص کیک افزایش یافت. در مقابل، مشاهده شد که حجم مخصوص کیک آرد تیمار شده در 30 درصد رطوبت با افزایش دما کاهش نشان داد. میازاکی و موریتا (2005) دریافتند که استفاده از نشاسته تیمار شده حجم نان را به طور قابل توجهی کاهش داد که مغایر با نتایج ما بود. با این حال زمانی که شورتنینگ و آب بیشتر به این فرمولاسیون اضافه شد حجم به میزان زیادی بهبود یافت. مطالعه پونگجاروات و همکاران (2014) نشان داد که افزودن نشاسته تاپیوکا پیش‌ژلاتینه به نان برنج، حجم مخصوص را افزایش داد [9]. جیوتسنا و همکاران (2016) گزارش نمودند که جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن انگشتی، حجم کیک کاهش یافت. خمیر تهیه شده از 100 درصد آرد ارزن رقیق بود و به دلیل ویسکوزیته کم قادر نبود هوا را نگهدارد، در نتیجه حجم کیک کاهش یافت. استفاده از پروتئین آب پنیر حجم را بهبود داد اما استفاده از مقادیر زیاد آن ویسکوزیته خمیر را افزایش داد و منجر به خمیر سفت و حجم کم مافین گردید. استفاده از امولسیفایرها و هیدروکلوئیدهای مختلف نیز با افزایش ویسکوزیته خمیر، حجم کیک ارزن را بهبود دادند [22]. مارستون و همکاران (2016) تأثیر تیمار حرارتی بر پتانسیل پخت آرد سورگوم برای نان و کیک را بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که حجم کیک با افزایش دما و زمان تیمار حرارتی به استثنای شرایط سخت حرارت‌دهی افزایش پیدا کرد و این نتیجه هم راستا با نتایج ما بود [23].

3-2- پذیرش حسی

نتایج ارزیابی حسی در جدول 1 ارائه شده است. تمام کیک‌های بدون گلوتن نمرات پذیرش کلی بالای 5 (خنثی) داشتند اما نمره کیک حاوی 100 درصد آرد تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتیگراد کمتر از 5 بود. یکی از دلایل کسب نمرات پایین ارزیابی حسی برای نمونه‌های حاوی آرد تیمار شده در شدیدترین شرایط، ایجاد بو و مزه نامطلوب در آن‌ها ناشی از واکنش مایلارد و فرآیند شدید حرارتی است [24].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

Table 1 Specific volume and total acceptability of cakes containing heat-moisture treated millet flour

Moisture (%)	Temperature (°C)	HMT flour (%)	Specific volume (cm^3/g)	Total acceptability
	Wheat flour		–	7.2 ± 1^{a}
	Untreated millet flour		4.42 ± 0.06^{fg}	6.6 ± 0.7^{abcd}
20	100	25	4.45 ± 0.04^{ef}	6.6 ± 1.1^{abcd}
		50	4.47 ± 0.04^{ef}	7 ± 0.9^{abc}
		75	4.46 ± 0.05^{ef}	6.7 ± 0.8^{abcd}
		100	4.42 ± 0.06^{fg}	6.3 ± 0.8^{cde}
	120	25	4.50 ± 0.05^{de}	6.9 ± 0.7^{abc}
		50	4.50 ± 0.03^{de}	6.7 ± 0.8^{abcd}
		75	4.58 ± 0.06^{c}	6.5 ± 0.8^{abcd}
		100	4.49 ± 0.04^{ef}	6.1 ± 0.9^{de}
30	100	25	4.53 ± 0.01^{cde}	6.8 ± 0.9^{abcd}
		50	4.58 ± 0.02^{cd}	7.1 ± 1^{ab}
		75	4.73 ± 0.01^{a}	6.6 ± 0.7^{abcd}
		100	4.66 ± 0.03^{b}	6.1 ± 1^{de}
	120	25	4.35 ± 0.05^{gh}	7 ± 0.7^{abc}
		50	4.31 ± 0.05^{hi}	6.4 ± 0.5^{bcde}
		75	4.24 ± 0.06^{i}	5.8 ± 1.1^{e}
		100	4.32 ± 0.02^{h}	4.8 ± 0.8^{f}

Values in the same column with the same letter are not significantly different ($P < 0.05$).

همچنین این نمونه‌ها دارای ساختار و بافت متراکم‌تر، حجم کم و رنگ تیره‌ای بودند. گومز و همکاران (2010) گزارش کردند که اختلاف کمی در ارزیابی حسی بین کیک‌های گندم و غیر گندم (چاودار، تریتیکاله، جو و تریتوردئوم) وجود دارد. کیک‌های غیر گندم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. آن‌ها اظهار داشتند که اختلاف بین کیک گندم و کیک‌های دیگر می‌تواند به این دلیل باشد که مصرف‌کنندگان به طعم و بوی کیک گندم عادت دارند [25]. مطالعه راجیو و همکاران (2011) نشان داد که پذیرش کیک حاوی 100 درصد آرد ارزن انگشتی کمتر از کیک گندم بود [26].

3-3- میزان رطوبت

میزان رطوبت مغز کیک‌ها در روزهای مختلف نگهداری در جدول 2 نشان داده شده است. در روز پخت، میزان رطوبت نمونه‌ها با افزایش سطح جایگزینی آرد ارزن تیمار حرارتی-رطوبتی شده به طور معنی‌داری ($p<0/05$) افزایش یافت. همچنین با افزایش شدت تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن، افزایش قابل توجهی در میزان رطوبت مغز کیک مشاهده گردید به طوری که بیشترین مقادیر رطوبت مربوط به نمونه‌های حاوی آرد تیمار شده در رطوبت 30 درصد و دمای 120 درجه سانتیگراد بود. علت افزایش میزان رطوبت در نمونه‌های تیمار شده نسبت به شاهد، قدرت بالای آردهای تیمار شده در جذب و نگهداشت آب در حین فرآیند پخت می‌باشد. بالاسوبرامانیان و همکاران (2014) اظهار داشتند که ظرفیت اتصال آب در نشاسته ارزن هیدروترمال شده افزایش یافت [27]. سیحون و همکاران (2005) با بررسی انواع مختلف نشاسته در به تأخیر انداختن بیاتی کیک گزارش کردند که نمونه‌های شاهد بیشترین افت رطوبت را در طول پخت داشتند و نشاسته پیش‌ژلاتینه مؤثرترین نشاسته در کاهش افت رطوبت بود. با توجه به این که نشاسته-های پیش‌ژلاتینه به طور قابل توجهی مقدار بیشتری آب را باند می‌کنند، توصیه می‌شود که برای نگهداشت آب در محصولات پخت استفاده شوند [15]. تحقیقات مختلف در زمینه تیمار حرارتی-رطوبتی انواع نشاسته نشان داده که تیمار در رطوبت‌های بالاتر، احتمال وقوع ژلاتینیزاسیون جزئی و تغییرات مورفولوژیکی گرانول را افزایش می‌دهد [7].

بررسی میزان رطوبت مغز کیک نمونه‌های مختلف در روز سوم نگهداری نشان داد که هیچ اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و نمونه‌های تهیه شده از آرد تیمار شده وجود ندارد. همین نتیجه

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

برای روزهای ششم و نهم نگهداری نیز مشاهده گردید. به عبارتی، در حالی که تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن، میزان رطوبت اولیه کیک را افزایش داد با این وجود این تیمار نتوانست تغییر قابل توجهی در سرعت کاهش رطوبت کیک ایجاد کند. این نشان می‌دهد که آردهای تیمار شده تنها دارای ظرفیت نگهداشت آب بیشتر در طول پخت می‌باشند. نتایج آنالیز آماری نشان داد که تأثیر زمان نگهداری بر روی رطوبت کیک برای تمامی نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش زمان، رطوبت مغز کیک کاهش یافت. این تغییر تا روز سوم قابل توجه بود اما بعد از آن، علیرغم کاهش میزان رطوبت تا روز نهم، افت رطوبت قابل توجهی مشاهده نگردید. یکی از پارامترهایی که در بیاتی کیک نقش مهمی دارد مهاجرت آب بین پوسته و مغز در طول نگهداری می‌باشد. این مهاجرت آب می‌تواند بخشی از سفت شدن بافت مغز در طول نگهداری را توضیح دهد [14]. گومز و همکاران (2007) پتانسیل هیدروکلوئیدهای مختلف را در به تأخیر اندختن فرآیند بیاتی کیک بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که کیک‌های حاوی هیدروکلوئیدها افت رطوبت کمتری در طول پخت نسبت به نمونه شاهد داشتند اما در طول نگهداری، میزان و سرعت افت رطوبت مشابه نمونه شاهد بود [28]. پورهاگن و همکاران (2011) از آرد و نشاسته جو به شکل تیمار نشده و تیمار حرارتی شده در فرمولاسیون نان گندم استفاده کردند. نشاسته و آرد جو پیش تیمار شده نگهداشت آب در طول نگهداری را نسبت به نمونه شاهد بهبود دادند. علاوه بر این، آرد پیش‌تیمار شده قادر بود که آب را بهتر از نشاسته پیش‌تیمار شده نگهدارد، در حالی که هیچ اختلافی بین افزودنی‌های تیمار نشده نبود [29].

Table 2 Moisture content of cakes containing heat-moisture treated millet flour during storage

Moist (%)	Temp (°C)	HMT flour (%)	Storage time (days) 0	3	6	9
Untreated millet flour			18.9±0.1 ^{Afgh}	12.2±1.2 ^{Ba}	11.7±0.2 ^{Ba}	11.8±0.0 ^{Ba}
20	100	25	18.4±1.1 ^{Ah}	12.1±0.4 ^{Ba}	11.7±0.1 ^{Ba}	11.6±0.3 ^{Ba}
		50	19.4±1.2 ^{Adefgh}	12.6±0.2 ^{Ba}	12.3±0.2 ^{Ba}	12.1±0.3 ^{Ba}
		75	19.0±0.7 ^{Afgh}	12.3±0.1 ^{Ba}	12.1±0.1 ^{Ba}	11.9±0.1 ^{Ba}
		100	19.6±0.5 ^{Acdefgh}	12.8±1.3 ^{Ba}	12.2±0.1 ^{Ba}	11.8±0.1 ^{Ba}
	120	25	18.6±0.2 ^{Agh}	11.7±0.1 ^{Ba}	11.9±0.1 ^{Ba}	11.8±0.3 ^{Ba}
		50	19.4±0.2 ^{Adefgh}	11.9±0.1 ^{Ba}	11.9±0.9 ^{Ba}	11.5±0.7 ^{Ba}
		75	19.1±0.7 ^{Aefgh}	12.6±0.1 ^{Ba}	12.2±0.1 ^{Ba}	11.7±0.4 ^{Ba}
		100	20.5±0.6 ^{Aabcde}	13.0±0.1 ^{Ba}	12.2±1.1 ^{Ba}	11.9±0.5 ^{Ba}
30	100	25	18.9±0.1 ^{Afgh}	12.6±0.0 ^{Ba}	11.5±0.1 ^{Ca}	11.4±0.2 ^{Ca}
		50	19.5±1.2 ^{Acdefgh}	12.3±0.5 ^{Ba}	11.5±0.2 ^{Ba}	11.5±0.1 ^{Ba}
		75	20.0±0.3 ^{Abcdefg}	12.9±0.1 ^{Ba}	11.7±0.1 ^{Ca}	11.4±0.1 ^{Ca}
		100	20.9±0.1 ^{Aabc}	12.8±1.6 ^{Ba}	11.7±0.3 ^{Ba}	11.7±0.2 ^{Ba}
	120	25	20.2±0.3 ^{Aabcdef}	12.3±0.2 ^{Ba}	11.8±0.0 ^{Ba}	11.3±0.7 ^{Ba}
		50	20.8±0.3 ^{Aabcd}	12.3±0.2 ^{Ba}	11.8±0.0 ^{Ba}	11.3±0.7 ^{Ba}
		75	21.7±0.4 ^{Aa}	12.2±0.3 ^{Ba}	11.8±0.3 ^{BCa}	11.2±0.2 ^{Ca}
		100	21.1±0.3 ^{Aab}	12.5±0.3 ^{Ba}	12.0±0.2 ^{BCa}	11.2±0.5 ^{Ca}

Moist: moisture
Temp: temperature
Values in the same row with the same capital letter are not significantly different ($P < 0.05$).
Values in the same column with the same small letter are not significantly different ($P < 0.05$).

3-4- پارامترهای بافت

3-4-1- سفتی

با توجه به بافت کیک، در این تحقیق شاخص‌های سفتی، انسجام و حالت ارتجاعی از میان پارامترهای بافتی مختلف حاصل از منحنی TPA مورد بررسی قرار گرفتند. سایر پارامترهای بافتی

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

همبستگی بالایی با این پارامترهای اصلی نشان می‌دهند [30]. سفتی به عنوان حداکثر نیروی لازم برای فشردن کیک تا یک میزان مشخص در یک سرعت مشخص اندازه‌گیری می‌شود. میزان سفتی نمونه‌های کیک در طول نگهداری در جدول 3 گزارش شده است. نتایج سفتی در روز پخت نشان داد که تیمار حرارتی-رطوبتی به طور قابل توجهی بر بافت کیک تأثیر گذاشت. بر اساس نتایج آنالیز واریانس، تأثیر دما، رطوبت و اثر متقابل دما و رطوبت بر روی سفتی مغز کیک معنی‌دار بودند ($p<0/05$). آردهای تیمار شده در 20 درصد رطوبت و دمای 100 درجه سانتیگراد و همچنین 20 درصد رطوبت و دمای 120 درجه سانتیگراد تأثیر معنی‌داری بر روی سفتی نداشتند. استفاده از آرد تیمار شده در 30 درصد رطوبت و دمای 100 درجه سانتیگراد به طور معنی‌داری سفتی کیک را در مقایسه با نمونه شاهد کاهش داد به طوری که کیک‌های حاوی این آرد کمترین میزان سفتی را داشتند. با این حال کیک‌های تهیه شده از آرد تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتیگراد بافت فشرده و متراکم با بیشترین میزان سفتی را داشتند. استفاده از آرد تیمار شده به روش حرارتی- رطوبتی در فرمولاسیون کیک می‌تواند مقدار حباب‌های هوا وارد شده در خمیر کیک را افزایش دهد که منجر به ثقل مخصوص کم‌تر و قوام بیشتر می‌گردد. ثقل مخصوص و قوام خمیر فاکتورهای اصلی مؤثر بر حجم نهایی کیک و درنتیجه ویژگی‌های بافتی آن هستند. مطابق با بررسی لبسی و تزیا (2012) سفتی مغز کیک با حجم و تخلخل کیک مرتبط است به طوری که کیک‌های کوچک‌تر، بافت سفت و متراکم‌تری دارند [20]. مطابق با نتایج مطالعه حاضر، مارستون و همکاران (2016) آرد سورگوم را در معرض تیمار حرارت خشک قرار دادند و دریافتند که با افزایش زمان تیمار حرارتی، سفتی کیک کاهش یافت. آن‌ها اظهار داشتند که تیمار حرارتی موجب افزایش هوای وارد شده به خمیر در طول اختلاط و کاهش ثقل ویژه خمیر کیک و درنتیجه کاهش سفتی کیک می‌گردد [23]. در مطالعه روسو و دوه (1970) دمای بهینه تیمار حرارتی آرد برای بهبود عملکرد پخت در کیک‌های لایه‌ای 120 درجه سانتیگراد گزارش شد در حالی که زمان نگهداشت یک فاکتور بحرانی نبود. نتایج آن‌ها نشان داد که دماهای بسیار بالا اثر زیان‌آور بر روی بافت و طعم دارند [31].

Table 3 Hardness of cakes containing heat-moisture treated millet flour during storage

Moist (%)	Temp (°C)	HMT flour (%)	Storage time (days) 0	3	6	9
Untreated millet flour			527±45 ^{Ccd}	739±54 ^{Babc}	861±52 ^{Aab}	844±73 ^{ABab}
20	100	25	520±35 ^{Bcd}	684±50 ^{Abcde}	743±46 ^{Acde}	763±72 ^{Abc}
		50	500±55 ^{Bcde}	660±41 ^{Acde}	720±87 ^{Ade}	740±45 ^{Abc}
		75	484±37 ^{Bdef}	685±43 ^{Abcdef}	693±73 ^{Ae}	747±42 ^{Abc}
		100	492±32 ^{Ccde}	667±34 ^{Bcde}	759±42 ^{Abcde}	761±66 ^{Abc}
	120	25	537±32 ^{Bbcd}	700±18 ^{Abcde}	759±14 ^{Abcde}	759±82 ^{Abc}
		50	520±20 ^{Ccd}	716±49 ^{Bbcd}	818±27 ^{Aabcd}	811±53 ^{Aab}
		75	531±43 ^{Bbcd}	711±60 ^{Abcd}	788±55 ^{Aabcde}	798±63 ^{Aabc}
		100	567±44 ^{Cabc}	751±80 ^{Bab}	878±47 ^{Aa}	878±28 ^{Aa}
30	100	25	494±41 ^{Ccde}	691±28 ^{Bbcdef}	775±33 ^{Aabcde}	760±50 ^{ABbc}
		50	508±65 ^{Bcde}	707±10 ^{Abcd}	706±51 ^{Ae}	752±54 ^{Abc}
		75	441±44 ^{Bef}	655±13 ^{Ade}	718±55 ^{Ade}	745±57 ^{Abc}
		100	418±14 ^{Bf}	621±34 ^{Ae}	689±68 ^{Ae}	691±34 ^{Ac}
	120	25	605±40 ^{Bab}	702±16 ^{Abcde}	755±48 ^{Abcde}	766±29 ^{Abc}
		50	625±37 ^{Ba}	753±35 ^{Aab}	822±71 ^{Aabcd}	814±73 ^{Aab}
		75	638±35 ^{Ba}	803±58 ^{Aa}	794±47 ^{Aabcde}	808±52 ^{Aab}
		100	622±50 ^{Ba}	810±34 ^{Aa}	834±78 ^{Aabc}	846±48 ^{Aab}

Moist: moisture content
Temp: temperature
Values in the same row with the same capital letter are not significantly different ($P < 0.05$).
Values in the same column with the same small letter are not significantly different ($P < 0.05$).

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

در روز سوم پس از پخت، کیک‌های حاوی آرد تیمار شده در دمای 100 درجه سانتیگراد در هر دو رطوبت 20 و 30 درصد نسبت به نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده در دمای 120 درجه سانتیگراد نرم‌تر بودند. در دمای 100 درجه سانتیگراد با افزایش سطح جایگزینی کاهش سفتی مشاهده شد در حالی که در دمای 120 درجه سانتیگراد، افزایش سطح جایگزینی موجب افزایش سفتی گردید. در روزهای ششم و نهم نگهداری، سفتی نمونه شاهد از نمونه‌های تهیه شده از آرد تیمار شده در 30 درصد و 120 درجه سانتیگراد بیشتر بود هر چند که این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود.

کاراوغلو و همکاران (2001) تأثیر سطوح مختلف انواع نشاسته اصلاح شده گندم و ذرت (پیش ژلاتینه، رقیق شده با اسید، اتصال عرضی، دکسترینه شده و اصلاح نشده) را بر روی کیفیت کیک بررسی کردند. افزودن نشاسته‌های اصلاح نشده و پیش‌ژلاتینه منجر به بیشترین حجم کیک شدند و در روز پنجم نگهداری، کیک حاوی نشاسته پیش‌ژلاتینه بیشترین نرمی را داشت [16]. پورهاگن و همکاران (2011) دریافتند که میزان آب، سفتی و رتروگراداسیون آمیلوپکتین نان‌های حاوی آرد جو تیمار حرارتی شده متفاوت از نان شاهد بودند. نمونه‌های دارای نشاسته جو تیمار نشده و تیمار حرارتی شده و همچنین آرد جو تیمار حرارتی شده بعد از 7 روز نگهداری در مقایسه با نمونه شاهد سفتی کمتری داشتند [29]. میازاکی و موریتا (2005) گزارش دادند که نان گندم حاوی نشاسته ذرت حرارتی-رطوبتی سفت‌تر از نان شاهد و نان حاوی نشاسته خام بود. همچنین فرآیند بیاتی نان حاوی نشاسته تیمار شده در دمای بالا متفاوت از نشاسته تیمار شده در دمای پایین بود [9].

تأثیر زمان نگهداری بر روی سفتی کیک برای تمامی نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش زمان نگهداری، سفتی مغز کیک افزایش یافت. با این حال، از روز ششم تا نهم پس از پخت، تغییر قابل توجهی در سفتی کیک مشاهده نشد. بیاتی یا سفت شدن بافت محصولات صنایع پخت در طول نگهداری، فرآیند پیچیده‌ای است که عوامل متعددی نظیر رتروگراداسیون آمیلوپکتین، آرایش مجدد پلیمرها در ناحیه آمورف، تشکیل کمپلکس بین نشاسته و پروتئین‌ها، کاهش مقدار رطوبت و یا توزیع مجدد آب بین ناحیه آمورف و کریستالی در آن دخیل است که به نظر می‌رسد علت اصلی بیاتی محصولات بدون گلوتن کاهش رطوبت و مهاجرت آسان‌تر آن از مغز به پوسته که در نتیجه عدم حضور گلوتن است می‌باشد [32].

3-4-2-انسجام

دو پارامتر انسجام و حالت ارتجاعی به عنوان میزان مقاومت ساختار کیک در برابر فشردن ملاحظه می‌شوند و نشان‌دهنده گسترش اتصالات داخلی در شبکه سه بعدی پروتئین می‌باشند و تغییرات آن‌ها بر احساسی که یک مصرف‌کننده در طول جویدن دریافت می‌کند تأثیر می‌گذارد. یک مقیاس قابل کاربرد از انسجام، سرعتی است که ماده غذایی تحت عمل مکانیکی جویدن متلاشی می‌شود [33]. در جدول 4 نتایج مربوط به میزان انسجام نمونه-های کیک در طول نگهداری ارائه شده است. در روز پخت، استفاده از آرد تیمار شده در 30 درصد رطوبت و دمای 120 درجه سانتیگراد موجب کاهش انسجام کیک نسبت به نمونه شاهد گردید. در سایر شرایط مورد بررسی تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن تغییر معنی‌دار و روند مشخصی در انسجام نمونه‌ها مشاهده نشد.

در روز سوم نگهداری، با افزایش سطح جایگزینی آرد ارزن تیمار شده در 20 درصد رطوبت و هر دو دما و همچنین 30 درصد رطوبت و دمای 100 درجه سانتیگراد، انسجام نمونه‌های کیک افزایش معنی‌دار نشان داد در حالی که انسجام نمونه‌های حاوی آرد تیمار شده در 30 درصد رطوبت و 120 درجه سانتیگراد تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت. در رطوبت 20 درصد با افزایش دما میزان انسجام افزایش یافت در حالی که در رطوبت 30 درصد افزایش دما موجب کاهش انسجام گردید. همین رفتار و روند در روزهای ششم و نهم نگهداری مشاهده گردید. یکی از معایبی که کیک ارزن در مقایسه با کیک گندم دارد انسجام کمتر آن می‌باشد. در طول نگهداری، انسجام آن کاهش بیشتری داشته و زمانی که در معرض تنش قرار می‌گیرد به میزان بیشتری خرد و متلاشی می‌شود، اما تیمار حرارتی-رطوبتی در تحقیق حاضر توانست که انسجام کیک را بهبود داده و افت انسجام را در طول نگهداری کاهش دهد.

گلیناس و همکاران (2001) داشتند که تیمار حرارتی آرد گندم موجب بهبود حجم و حالت ارتجاعی نان شد اما سفتی و انسجام آن را بهبود نداد [34]. ویدیا و همکاران (2013) در یافتند که

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

بخاردهی دانه‌های برنج، سورگوم، ارزن انگشتی و ارزن مرواریدی، سفتی خمیر را به مقدار جزئی افزایش داد در حالی که افزایش قابل توجهی برای انسجام و حالت ارتجاعی خمیر اتفاق افتاد. آن‌ها گزارش کردند که فرآوری دانه‌های بدون گلوتن با بخار، قابلیت تشکیل خمیر و بی‌نقصی آن را بهبود می‌دهد. شکست یا ترک در حین پهن کردن خمیر، بیشتر در نمونه‌های آرد خام تیمار نشده مشاهد گردید [11].

نتایج آنالیز آماری نشان داد که تأثیر زمان نگهداری بر روی انسجام نمونه‌های کیک معنی‌دار بود. با افزایش زمان نگهداری، میزان انسجام برای همه نمونه‌ها کاهش یافت اما این کاهش بین نمونه‌ها متفاوت بود. اگر چه انسجام اولیه برای اکثر نمونه‌ها (به استثنای تیمار 30 درصد و 120 درجه سانتیگراد) مشابه بود اما در طی دوره نگهداری نه روزه، در نمونه شاهد میزان کاهش انسجام بیشتری مشاهده شد و انسجام کمتری نسبت به نمونه‌های تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی (به استثنای تیمار 30 درصد و 120 درجه سانتیگراد) داشت. کاهش انسجام کیک در طول نگهداری می‌تواند به وسیله افت جاذبه بین مولکولی میان ترکیبات تشکیل دهنده، خشک شدن و تمایل به خرد شدن در طول بیاتی توضیح داده شود [33].

Table 4 Cohesiveness of cakes containing heat-moisture treated millet flour during storage

Moist (%)	Temp (°C)	HMT flour (%)	Storage time (days) 0	3	6	9
Untreated millet flour			0.430±0.053 ^{Aab}	0.182±0.002 ^{Bfg}	0.156±0.002 ^{Bf}	0.153±0.003 ^{Bhij}
20	100	25	0.434±0.028 ^{Aab}	0.189±0.005 ^{Bf}	0.165±0.005 ^{BCf}	0.157±0.004 ^{Cghi}
		50	0.450±0.043 ^{Aab}	0.216±0.008 ^{Bcde}	0.193±0.006 ^{Bd}	0.183±0.017 ^{Bef}
		75	0.469±0.019 ^{Aa}	0.257±0.002 ^{Bb}	0.218±0.004 ^{Cbc}	0.219±0.011 ^{Cbc}
		100	0.480±0.013 ^{Aa}	0.267±0.004 ^{Bb}	0.236±0.001 ^{Cb}	0.230±0.006 ^{Cab}
	120	25	0.440±0.034 ^{Aab}	0.213±0.010 ^{Bde}	0.196±0.003 ^{Bd}	0.188±0.010 ^{Bdef}
		50	0.430±0.032 ^{Aab}	0.235±0.012 ^{Bc}	0.220±0.014 ^{Bbc}	0.202±0.017 ^{Bcd}
		75	0.428±0.033 ^{Aab}	0.261±0.023 ^{Bb}	0.233±0.025 ^{Bb}	0.226±0.020 ^{Bb}
		100	0.435±0.020 ^{Aab}	0.293±0.023 ^{Ba}	0.271±0.028 ^{BCa}	0.244±0.010 ^{Ca}
30	100	25	0.443±0.030 ^{Aab}	0.214±0.002 ^{Bde}	0.190±0.012 ^{BCde}	0.173±0.008 ^{Cfg}
		50	0.446±0.025 ^{Aab}	0.211±0.010 ^{Bde}	0.188±0.004 ^{BCde}	0.171±0.005 ^{Cfg}
		75	0.431±0.004 ^{Aab}	0.227±0.004 ^{Bcd}	0.209±0.003 ^{Ccd}	0.192±0.003 ^{Dde}
		100	0.410±0.018 ^{Abc}	0.267±0.010 ^{Bb}	0.227±0.009 ^{Cbc}	0.221±0.011 ^{Cb}
	120	25	0.397±0.007 ^{Abc}	0.185±0.012 ^{Bfg}	0.170±0.015 ^{BCef}	0.161±0.006 ^{Cgh}
		50	0.376±0.016 ^{Ac}	0.197±0.014 ^{Bef}	0.161±0.013 ^{Cf}	0.141±0.003 ^{Cij}
		75	0.369±0.021 ^{Ac}	0.166±0.009 ^{Bg}	0.155±0.006 ^{BCf}	0.136±0.003 ^{Cj}
		100	0.363±0.023 ^{Ac}	0.177±0.011 ^{Bfg}	0.148±0.002 ^{Cf}	0.143±0.010 ^{Chij}

Moist: moisture
Temp: temperature
Values in the same row with the same capital letter are not significantly different ($P < 0.05$).
Values in the same column with the same small letter are not significantly different ($P < 0.05$).

3-4-3- حالت ارتجاعی

حالت ارتجاعی مطلوب کیک با تازگی، تخلخل و حالت الاستیکی آن ارتباط دارد. هر چه میزان این شاخص بیشتر باشد، بافت محصول هنگام گاز زدن و جویدن احساس دهانی مطلوب‌تری دارد. قابلیت ارتجاعی به عنوان میزان بازیابی شکل ماده غذایی بین پایان فشردن اول و آغاز فشردن دوم در آزمون ارزیابی بافت تعریف می‌شود [33]. مقادیر پارامتر ارتجاعی نمونه‌های کیک در طی نگهداری در جدول 5 ارائه شده است. با افزایش سطح جایگزینی (75 و 100 درصد) آرد ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی، حالت ارتجاعی کیک در روز پخت کاهش معنی‌دار ($p<0/05$) نشان داد در حالی که استفاده از مقادیر کمتر (25 و 50 درصد) آرد ارزن تیمار شده در فرمولاسیون و همچنین

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

تیمار حرارتی-رطوبتی در شرایط 20 درصد و 100 درجه سانتیگراد تغییر معنی‌داری در حالت ارتجاعی کیک ایجاد نکرد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر دما، رطوبت و سطح جایگزینی آرد تیمار شده و اثر متقابل آن‌ها بر روی حالت ارتجاعی کیک در روز پخت معنی‌دار بود. در روزهای سوم، ششم و نهم نگهداری، قابلیت ارتجاعی در کیک‌های حاوی 75 و 100 درصد از آرد تیمار شده در رطوبت 20 درصد و دمای 100 درجه سانتیگراد به طور معنی‌داری بزرگتر از قابلیت ارتجاعی نمونه شاهد بود. فوستیر و گلیناس (1998) اظهار داشتند که تیمار حرارتی خشک آرد گندم، انسجام و حالت ارتجاعی کیک را افزایش داد در حالی که موجب کاهش صمغی بودن بافت کیک گردید [35].

Table 5 Springiness of cakes containing heat-moisture treated millet flour during storage

Moist (%)	Temp (°C)	HMT flour (%)	Storage time (days) 0	3	6	9
Untreated millet flour			0.873±0.013 ^{Aabc}	0.625±0.011 ^{Bdef}	0.596±0.008 ^{BCcde}	0.570±0.026 ^{Cc}
20	100	25	0.877±0.015 ^{Aabc}	0.642±0.004 ^{Bcdef}	0.594±0.020 ^{Cdef}	0.577±0.005 ^{Cbc}
		50	0.868±0.025 ^{Aabc}	0.651±0.012 ^{Bcd}	0.620±0.009 ^{Cbcde}	0.598±0.007 ^{Cbc}
		75	0.882±0.014 ^{Aab}	0.708±0.007 ^{Bab}	0.640±0.018 ^{Cab}	0.651±0.001 ^{Ca}
		100	0.880±0.009 ^{Aabc}	0.719±0.012 ^{Ba}	0.667±0.013 ^{Ca}	0.652±0.001 ^{Ca}
	120	25	0.873±0.003 ^{Aabc}	0.656±0.010 ^{Bcd}	0.631±0.007 ^{Cabcd}	0.590±0.018 ^{Dbc}
		50	0.861±0.013 ^{Aabcd}	0.646±0.026 ^{Bcde}	0.622±0.026 ^{Bbcde}	0.598±0.033 ^{Bbc}
		75	0.830±0.032 ^{Ade}	0.657±0.033 ^{Bcd}	0.625±0.031 ^{BCbcde}	0.594±0.023 ^{Cbc}
		100	0.819±0.022 ^{Ade}	0.658±0.050 ^{Bcd}	0.631±0.034 ^{Babcd}	0.610±0.025 ^{Bbc}
30	100	25	0.892±0.004 ^{Aa}	0.674±0.028 ^{Bbc}	0.614±0.009 ^{Cbcde}	0.602±0.029 ^{Cbc}
		50	0.857±0.011 ^{Aabcd}	0.657±0.011 ^{Bcd}	0.626±0.003 ^{Cbcde}	0.615±0.010 ^{Cab}
		75	0.833±0.014 ^{Ade}	0.656±0.009 ^{Bcd}	0.634±0.001 ^{BCabc}	0.603±0.033 ^{Cbc}
		100	0.731±0.028 ^{Af}	0.601±0.021 ^{Bf}	0.559±0.039 ^{BCf}	0.521±0.022 ^{Cd}
	120	25	0.855±0.011 ^{Abcd}	0.630±0.023 ^{Bcdef}	0.608±0.012 ^{BCbcde}	0.585±0.021 ^{Cbc}
		50	0.846±0.005 ^{Acde}	0.662±0.017 ^{Bcd}	0.615±0.005 ^{Cbcde}	0.596±0.017 ^{Cbc}
		75	0.831±0.011 ^{Ade}	0.626±0.021 ^{Bdef}	0.613±0.015 ^{BCbcde}	0.596±0.004 ^{Cbc}
		100	0.818±0.036 ^{Ae}	0.604±0.038 ^{Bef}	0.591±0.030 ^{Bef}	0.578±0.042 ^{Bbc}

Moist: moisture
Temp: temperature
Values in the same row with the same capital letter are not significantly different ($P < 0.05$).
Values in the same column with the same small letter are not significantly different ($P < 0.05$).

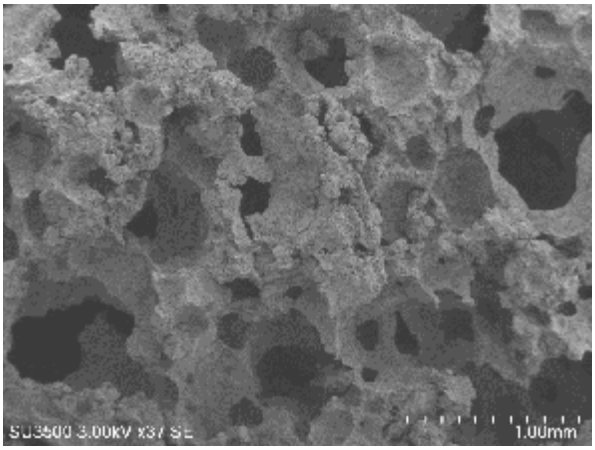
تأثیر زمان نگهداری بر روی حالت ارتجاعی کیک برای تمامی نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش زمان نگهداری، قابلیت ارتجاعی مغز کیک کاهش یافت. با این حال، بیشترین میزان کاهش حالت ارتجاعی تا روز سوم نگهداری مشاهده شد. بررسی اختلاف قابلیت ارتجاعی در روز پخت و روز نهم نگهداری نشان داد که بیشترین افت حالت ارتجاعی برای نمونه شاهد وجود داشت و این در حالیست که قابلیت ارتجاعی نمونه شاهد در روز پخت بالا بود. با افزایش مقدار آرد تیمار شده در فرمولاسیون، افت حالت ارتجاعی کیک طی نه روز نگهداری کاهش یافت. پورهاگن و همکاران (2011) گزارش کردند که حالت ارتجاعی برای همه نان‌ها شامل نمونه شاهد و نان‌های حاوی آرد و نشاسته جو تیمار شده و خام در طول زمان کاهش یافت. در روز هفتم نگهداری هیچ اختلاف معنی‌داری بین شاهد و نان‌های حاوی آرد جو پیش‌تیمار شده و نان‌های حاوی نشاسته پیش‌ژلاتینه نبود [29].

3-5- بررسی ریز ساختار کیک

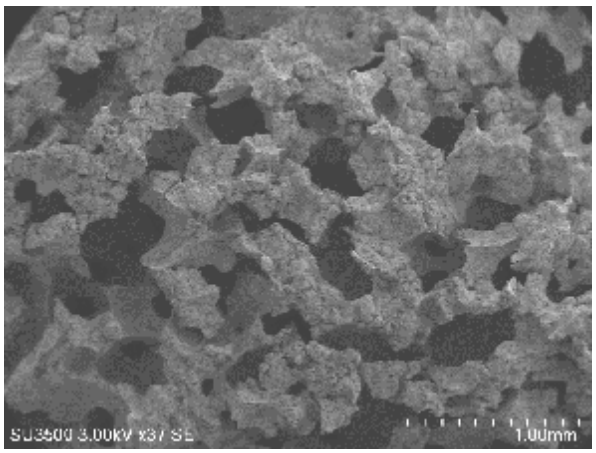
برای بررسی تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن بر ریزساختار کیک از نمونه حاوی 75 درصد آرد ارزن تیمار شده در 30 درصد

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

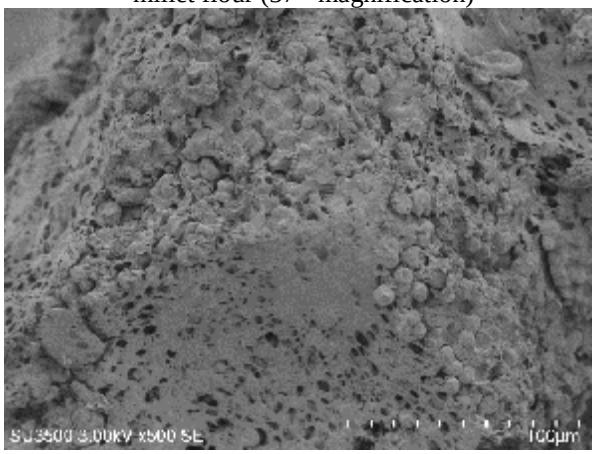
رطوبت و دمای 100 درجه سانتیگراد که حجم بالاتر و سفتی کمتری نسبت به نمونه شاهد داشت استفاده شد. شکل 1 تصاویر میکروسکوپ الکترونی از مغز کیک نمونه شاهد و نمونه تیمار شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل الف و ب می‌توان مشاهده نمود هنگامی که آرد ارزن تیمار شده حرارتی-رطوبتی در فرمولاسیون کیک استفاده شد، حفرات ریز با ساختار یکنواخت‌تر به دست آمد. تورابی و همکاران (2010) نیز گزارش کردند با استفاده از صمغ در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن، ریزساختار کیک یکنواخت‌تر بود. آن‌ها اظهار داشتند که نمونه شاهد دارای حفرات کوچک و بزرگ بود و توزیع آن‌ها یکنواخت نبود اما در کیک حاوی مخلوط زانتان-گوار، توزیع یکنواخت و همگن حفرات مشاهده گردید. مشاهده شکل ج و د نشان می‌دهد که در هر دو نمونه شاهد و تیمار شده، گرانول‌های نشاسته به شکل‌های مختلف دست نخورده، متورم و ژلاتینه شده در ماتریکس پروتئینی ناپیوسته و از هم گسیخته جای گرفته‌اند. راجیو و همکاران (2011) به این نتیجه رسیدند که در کیک تهیه شده از 100 درصد آرد گندم، ماتریکس گلوتن پیوسته است اما با افزایش جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن انگشتی، پیوستگی ماتریکس پروتئینی کاهش یافته و به میزان بیشتری از هم گسیخته می‌شود [26].



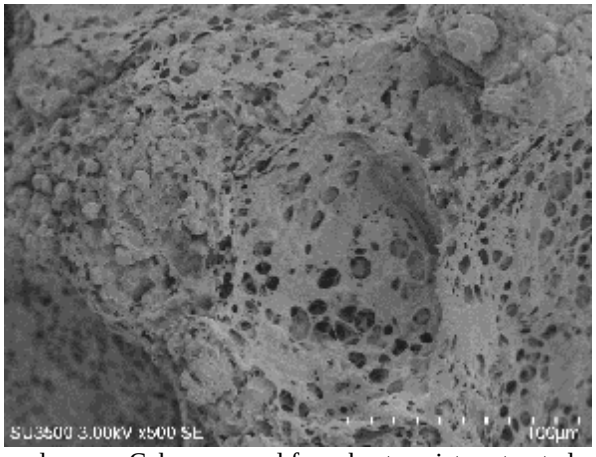
a. Cake prepared from raw millet flour (37× magnification)



b. Cake prepared from heat-moisture treated millet flour (37× magnification)



c. Cake prepared from raw millet flour (500× magnification)



d. Cake prepared from heat-moisture treated millet flour (500× magnification)

Fig 1 Scanning electron micrographs

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

4- نتیجه‌گیری کلی

تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن با افزایش نگهداشت آب در طول پخت موجب افزایش میزان رطوبت مغز کیک گردید. با کاربرد شرایط مختلف تیمار هیدروترمال، حجم و میزان سفتی در نمونه‌های کیک تغییر کرد به طوری که با استفاده از شرایط بهینه تیمار می‌توان کیک‌های با حجم بیشتر و نرمتری تولید نمود. علیرغم مؤثر بودن تیمار حرارتی-رطوبتی بر میزان رطوبت و سفتی کیک در روز پخت، این تیمار تأثیر بهبوددهنده‌ای برای کاهش سرعت افت رطوبت و سفت شدن کیک در طول نگهداری نداشت. کاربرد آردهای تیمار شده در شرایط مختلف، انسجام و قابلیت ارتجاعی کیک در روز تولید را بهبود ندادند اما به وضوح موجب کاهش میزان افت انسجام و حالت ارتجاعی کیک در طول دوره نگهداری نه روزه شدند. یکی از معایبی که کیک ارزن به عنوان کیک بدون گلوتن در مقایسه با کیک گندم دارد انسجام کمتر آن می‌باشد. در طول نگهداری، انسجام آن کاهش بیشتری داشته و زمانی که در معرض تنش قرار می‌گیرد به میزان بیشتری خرد و متلاشی می‌شود، اما تیمار حرارتی-رطوبتی توانست که انسجام آن را بهبود داده و میزان افت انسجام را در طول نگهداری کاهش دهد. انجام آزمون‌های تجزیه‌ای بیشتر بر روی آرد ارزن بعد از تیمار حرارتی-رطوبتی می‌تواند نشان دهد که چگونه حرارت و رطوبت، عملکرد آرد و خمیر را تغییر می‌دهد.

5- منابع

[1] Houben, A., Hochstotter, A., Becker, T. 2012. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. European Food Research and Technology, 235: 195-208.

[2] Taylor, J. R. N., Schober, T. J., Bean, S. R. 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. Journal of Cereal Science, 44: 252-271.

[3] Saleh A. S. M., Zhang, Q., Chen, J., Shen, Q. 2013. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 12: 281-295.

[4] Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., Delcour, J. A. 2013. Ingredient functionality in batter type cake making. Trends in Food Science and Technology, 30: 6-15.

[5] Gallagher, E. 2009. Gluten-free food science and technology. Wiley-Blackwell, Dublin, Ireland. Pp.83-180.

[6] Gomez, M., Martinez, M. 2016. Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods. Journal of Cereal Science, 67: 68-74.

[7] Zavareze, E.R., Dias, A.R.G. 2011. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. Carbohydrate Polymer, 82: 317-328.

[8] Jacobs, H., Delcour, J.A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: a review. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46: 2895-2905.

[9] Miyazaki, M., Morita, N. 2005. Effect of heat- moisture treated maize starch on the properties of dough and bread. Food Research International, 38: 369-376.

[10] Lorenz, K., Kulp, K. 1981. Heat-moisture treatment of starches. II. Functional properties and baking potential. Cereal Chemistry, 58(1): 49-52.

[11] Vidya, S., Ravi, R., Bhattavharya, S. 2013. Effect of thermal treatment on selected cereals and millets flour dough and their baking quality. Food and Bioprocess Technology, 6: 1218-1227.

[12] Punch-arnon, S., Uttapap, D. 2013. Rice starch vs. rice flour: differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. Carbohydrate Polymers, 91: 85-91.

[13] Sun, Q., Han, Z., Wang, L., Xiong, L. 2014. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. Food Chemistry, 145: 756-764.

[14] Hesso, N., Loisel, C., Chevallier, S., Le bail, A. 2014. Impact of pregelatinised starches on the texture and staling of conventional and degassed pound cake. Food Bioprocess Technol. 7, 2923-2930.

[15] Seyhun, N., Sumnu, G., Sahin, S. 2003. Effects of different emulsifier types, fat contents, and gum types on retardation of

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

staling of microwave-baked cakes. Nahrung / Food, 47: 248–251.

[16] Karaoglu, M. M., Kotancilar, H. G., Celik, I. 2001. Effects of utilization of modified starches on the cake quality. Starch, 53: 162-169.

[17] Bennion, E.B., Bamford, G.S.T. 1997. Cake-making process. In The technology of cake making. Sixth edition. pp. 251-274. Springer Science+Business Media. Dordrecht.

[18] AACC. 2000. Approved Methods of the AACC, 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.

[19] Singh, M., Liu, S.X., Vaughn, S.F. 2012. Effect of corn bran as dietary fiber addition on baking and sensory quality. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 1: 348-352.

[20] Lebesi, D., Tzia, C. 2012. Use of endoxylanase treated cereal brans for development of dietary fiber enriched cakes. Innovative Food Sci. Emerging Technol. 13, 207-214.

[21] Gularte, M. A., Gomez, M., Rosell, C. M. 2012. Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. Food and Bioprocess Technology, 5(8): 3142-3150.

[22] Jyotsna, R., Soumya, C., Swati, S., Prabhasankar, P. 2016. Rheology, texture, quality characteristics and immunochemical validation of millet based gluten free muffins. Journal of Food Measurement and Characterization, 10: 762-772.

[23] Marston, K., Khouryieh, H., Aramouni, F. 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of glutej-free bread and cake. LWT- Food Sci. Technol. 65, 637-644.

[24] Chung, H. J., Cho, A., Lim, S. T. 2012. Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle. LWT- Food Science and Technology, 47: 342-347.

[25] Gomez, M., Manchon, L., Oliete, B., Ruiz, E., Caballero, P.A. 2010. Adequacy of wholegrain non-wheat flours for layer cake elaboration. LWT- Food Science and Technology, 43: 507-513.

[26] Rajiv, J., Soumya, C., Indrani, D., Rao, G. V. 2011. Effect of replacement of wheat flour with finger millet flour (Eleusine corcana) on the batter microscopy, theology and quality characteristics of muffins. Journal of Texture Studies, 42: 478-489.

[27] Balasubramanian, S., Sharma, R., Kaur, J., Bhardwaj, N. 2014. Characterization of modified pearl millet (Pennisetum typhoides) starch. Journal of Food Science and Technology, 51(2): 294-300.

[28] Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P. A., Blanco, C. A., Rosell, C. M. 2007. Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. Food Hydrocolloids, 21: 167-173.

[29] Purhagen, J. K., Sjoo, M. E., Eliasson, A. C. 2011. The use of normal and heat-treated barley flour and waxy barley starch as anti-staling agents in laboratory and industrial baking processes. Journal of Food Engineering, 104: 414-421.

[30] Gomez, M., Doyague, M. J., Hera, E. 2012. Addition of pin-milled pea flour and air classified fractions in layer and sponge cakes. LWT- Food Science and Technology, 46: 142-147.

[31] Russo, J. V., Doe, C. A. 1970. Heat treatment of flour as an alternative to chlorination. International Journal of Food Science and Technology, 5: 363-374.

[32] Ahlborn, G. J., Pike, O. A., Hendrix, S. B, Hess, W. M., and Huber, C, S. 2005. Sensory, mechanical and microscopic evaluation of staling in low protein and gluten free bread. Cereal Chemistry, 82: 328-335.

[33] Karaoglu, M. M., Kotancilar, H. G. 2009. Quality and textural behavior of par-baked and rebaked cake during prolonged storage. International Journal of Food Science and Technology, 44: 93-99.

[34] Gelinas, P., McKinnon, C. M., Rodrigue, N., Montpetit, D. 2001. Heating conditions and bread-making potential of substandard flour. Journal of Food Science, 66(4): 627-632.

[35] Fustier, P., Gelinas, P. 1998. Combining flour heating and chlorination to improve cake texture. Cereal Chemistry, 75: 568-570.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

Staling of gluten-free cake prepared from heat-moisture treated millet flour

Fathi, B. [1], Aalami, M. [2*], Kashaninejad, M. [3], Sadeghi Mahoonak, A. R. [2]

1. PhD Student of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2. Associate Professor of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3. Professor of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(Received: 2016/12/04 Accepted:2017/06/13)

In this study, effect of heat-moisture treatment of proso millet flour on the textural characteristics of gluten-free cake during storage was investigated. Millet flour was treated with two different moisture contents (20% and 30%) at two temperatures (100C and 120C), and then different amounts (0–100%) of treated flours were used in cake formulation. Specific volume, sensory acceptance, microstructure, moisture content and texture parameters of cake crumb on the baking day, and 3rd, 6th and 9th days of storage were studied. The results showed that increasing the intensity of heat-moisture treatment and also increasing the treated flour content increased the moisture content of cake crumb in the baking day. The cakes containing flour treated at 30% of moisture and 100C had high volume with softest texture but cakes prepared from flour treated at 30% of moisture and 120C had a compact and dense texture with the highest hardness values. With increasing storage time, the moisture content of cake crumb decreased and the hardness of that increased, and heat-moisture treatment could not reduce the rate of moisture loss and hardening during storage. Using of heat-moisture treated flour did not improve cohesiveness and springiness of the cake in baking day but a greater reduction of cohesiveness and springiness was observed for control sample during 9-day storage. The findings in this work provide evidence that heat-moisture treatment of millet flour could improve quality of cake.

Keywords: Millet flour, Gluten-free cake, Hardness, Microstructure, Staling

* Corresponding Author E-Mail Address: mehranaalami@gmail.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]