

## مقایسه اثر تیمار حرارتی - رطوبتی دانه ارزن و افزودن صمغ زانتان بر ویژگی‌های خمیر و خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک بدون گلوتن

سیما مهاجر خراسانی<sup>۱</sup>، مهران اعلمی<sup>۲\*</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>۳</sup>،  
هدی شهیری طبرستانی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳- استاد دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- استادیار دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۷)

### چکیده

به طور متداول در صنعت تولید فرآورده‌های بدون گلوتن، از آردهای خام و بدون تغییر استفاده می‌شود و متداول‌ترین روش برای افزایش کیفیت محصولات بدون گلوتن استفاده از صمغ می‌باشد. در راستای افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای محصولات بدون افزودنی، می‌توان با استفاده از تیمار فیزیکی دانه غلات، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد و در نهایت کیک بدون گلوتن حاصل از آن را بدون استفاده از صمغ بهبود بخشید. از این رو هدف از این پژوهش مقایسه اثر صمغ زانتان و تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی کیک بدون گلوتن می‌باشد. در این پژوهش تأثیر صمغ زانتان در دو سطح صفر و ۰/۱۵ درصد و تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن در سه سطح رطوبت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و دو سطح دمای ۹۰ و ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی خمیر و کیک بدون گلوتن حاصل از آرد ارزن و برنج (نسب ۵۰:۵۰) بررسی و مقایسه شد. نتایج نشان داد با افزایش رطوبت و دما در تیمار حرارتی-رطوبتی، وزن مخصوص خمیر کاهش و ویسکوزیته آن افزایش یافت. همچنین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی کیک نظیر حجم مخصوص مخصوص، تخلخل و بافت کیک حاصل نسبت به نمونه شاهد بطور معنی‌داری در روز پخت و در طول نگهداری بهبود یافت ( $p < 0/05$ ). به طوری‌که نمونه حاوی آرد حاصل از دانه‌های تیمار شده در رطوبت ۲۰ درصد و دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد با نمونه حاوی ۰/۱۵ درصد صمغ زانتان از لحاظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی تفاوت معنی‌داری نداشتند ( $p > 0/05$ ). براساس یافته‌های این پژوهش، تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن می‌تواند جایگزین مناسبی برای استفاده از صمغ در کیک بدون گلوتن باشد.

**کلید واژگان:** کیک بدون گلوتن، ارزن، برنج، تیمار حرارتی-رطوبتی، صمغ زانتان

\* مسئول مکاتبات: mehranalami@gau.ac.ir

## ۱- مقدمه

کیک پس از نان از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین محصولات صنایع پخت در بین اقشار جامعه از جمله بیماران مبتلا به بیماری خاص می‌باشد. پروتئین گلوتن ترکیب اصلی مسئول تعیین کیفیت کیک می‌باشد و در گندم، جو، چاودار، تریکاله و یولاف یافت می‌شود ولی در بیماران سلیاکی ایجاد مشکل می‌کند [۱]. بیماری سلیاک نوعی بیماری خودایمنی گوارشی است که در اثر عدم تحمل گلوتن حاصل می‌شود و موجب التهاب روده کوچک، تخریب پرزهای روده و در نتیجه باعث اختلال در جذب چندین ماده مغذی مانند آهن، اسیدفولیک، کلسیم و ویتامین‌های محلول در چربی می‌شود [۲]. تنها راه درمان این بیماری استفاده از یک رژیم غذایی فاقد گلوتن می‌باشد [۳].

برنج یکی از غلات مناسب جهت تهیه فرآورده‌های بدون گلوتن برای بیماران مبتلا به سلیاک می‌باشد و اکثر فرآورده‌های بدون گلوتن بر پایه برنج تهیه می‌شوند. برنج دارای خواص تغذیه‌ای منحصربه‌فرد، حاوی مقادیر کم سدیم، پروتئین، چربی و مقادیر زیادی کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم بالاست [۴]. اما از آن‌جا که در فرآیند شالی‌کوبی به منظور تهیه برنج سفید بخش قابل توجهی از فیبر و مواد معدنی از دست می‌رود، در تهیه فرآورده‌های بدون گلوتن از آرد برنج، بایستی از آرد سایر غلات، آرد برخی حبوبات و یا افزودنی‌های مجاز استفاده نمود تا فرآورده حاصل به لحاظ مواد مغذی از تعادل مطلوبی برخوردار بوده و نیاز بیماران سلیاکی را تامین نماید. ارزن یکی از غلات فاقد گلوتن است که غنی از فیبرهای غذایی، پروتئین، مواد معدنی و ویتامین بوده و از این لحاظ با غلات متداول قابل مقایسه می‌باشد [۵، ۶]. ارزن در مقایسه با غلات اصلی، مقاوم به آفت و بیماری، دارای فصل رشد کوتاه و قابل تولید در شرایط خشک‌سالی است. ارزن معمولی (ارزن پروسو) (*Miliaceum panicum*) قدیمی‌ترین نوع ارزن کشت شده بوده [۷] و کشت آن در ایران رایج می‌باشد. از طرفی با توجه به خشک‌سالی و کاهش منابع آبی در ایران، استفاده از این دانه امری توجیه‌پذیر می‌باشد.

طبق تحقیقات انجام شده روش‌های اصلاح فیزیکی نظیر تیمارهای حرارتی خشک، حرارتی-رطوبتی و... می‌توانند برای بهبود عملکرد آرد و فرآورده‌های بدون گلوتن در صنایع پخت

مورد استفاده قرارگیرند. تیمار حرارتی-رطوبتی یک روش اصلاح فیزیکی ایمن و کم هزینه می‌باشد که شامل تیمار نمونه‌ها (دانه یا نشاسته) در رطوبت‌های کمتر از ۳۵ درصد و دمای بین ۱۲۰-۸۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه تا ۱۶ ساعت می‌باشد [۸]. آرد یا نشاسته تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی می‌تواند برای تولید محصولات مختلف به کار برده شود. تاکنون بسیاری از محققین تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی انواع نشاسته را بر روی ساختار و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها بررسی کرده‌اند. 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. همچنین تاکنون تحقیقاتی روی تیمار فیزیکی نشاسته، دانه و آرد غلات انجام شده است.

در همین راستا مهربان شندی (۱۳۹۲) اثر صمغ گوار و آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خمیر و کیک اسفنجی تهیه شده از مخلوط آردی برنج و ارزن مورد بررسی قرار دادند. بالاترین امتیاز در آزمون‌های ارزیابی مربوط به نمونه حاوی ۵۰ درصد برنج و ۵۰ درصد ارزن به همراه ۰/۲۵ درصد آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی و ۱ درصد صمغ گوار بود [۹].

ویدیا و همکاران (۲۰۱۳) آرد برنج، سورگوم، ارزن انگشتی و مرواریدی را تحت فشار اتاق به مدت ۲۰ دقیقه بخار زدند و دریافتند که خمیرهای حاصل از غلات تیمار شده خصوصیات مطلوبی نشان دادند و از نظر بافت کاملاً به چاپاتی گندم نزدیک بودند [۱۰]. همچنین در تحقیقات دیگری از آرد برنج قهوه‌ای تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی به عنوان جایگزین آرد گندم در تهیه کوکی و نودل استفاده شد و ویژگی‌های کیفی مشابه کوکی و نودل‌های حاوی آرد گندم نشان داد [۱۱، ۱۲]. فتحی (۱۳۹۵) تأثیر تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن بر کیک ارزن را بررسی کردند. طبق نتایج بدست آمده با تیماردهی آرد میزان وزن مخصوص کاهش و قوام خمیر افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش آرد تیمار شده به کیک میزان حجم مخصوص مخصوص افزایش و سفتی کیک کاهش یافته است [۱۳].

با توجه به این که تاکنون پژوهشی درخصوص استفاده از آرد حاصل از دانه ارزن تیمار شده در تهیه کیک بدون گلوتن انجام

داده شد. صمغ زانتان با نام تجاری ( Xanthan Gum, E415) از شرکت Rhodia food فرانسه تهیه شد. پودر قند، تخم مرغ تازه، روغن آفتابگردان، بکینگ پودر (مخصوص فرآورده‌های بدون گلوتن) و وانیل از فروشگاه‌های معتبر مواد غذایی تهیه شدند.

## ۲-۲-۲- روش‌ها

### ۲-۲-۲-۱- تیمار حرارتی-رطوبتی

برای تنظیم رطوبت دانه‌های ارزن به ۱۵ و ۲۰ درصد، مقدار محاسبه شده‌ای از آب مقطر بر روی دانه‌ها اسپری و کاملاً مخلوط گردید. سپس برای به تعادل رسیدن رطوبت، دانه‌های ارزن در ظروف شیشه‌ای دربسته به مدت یک شب (دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. به منظور تیماردهی، دانه‌ها درون ظرف شیشه‌ای در یک آون هوای داغ (Memmert, مدل UFE500، آلمان) در دماهای مختلف (۹۰ و ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۳ ساعت حرارت داده شدند. بعد از تیماردهی دانه‌ها را از ظرف خارج کرده و سپس در آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت حدود ۱۰ درصد خشک و پس از سرد شدن در دمای محیط آسیاب شدند [۱۷].

### ۲-۲-۲-۲- روش تهیه خمیر و تولید کیک

کیک‌های پخته شده در این پژوهش از نوع کیک‌های روغنی نسبت پایین بوده و با استفاده از روش بنیون و بمفورد (۱۹۹۷) با کمی تغییرات تهیه شدند. روغن آفتابگردان (۵۷ درصد)، براساس وزن آرد) و پودر قند (۷۲ درصد) با استفاده همزن به مدت ۴ دقیقه با سرعت متوسط کاملاً مخلوط شدند. تخم مرغ کامل (۷۲ درصد) به تدریج به مخلوط اضافه شده و به مدت ۵ دقیقه با سرعت تند همزده شد. آرد ارزن (۵۰ درصد) و آرد برنج (۵۰ درصد) که با بکینگ پودر، وانیل و صمغ زانتان الک شده بودند به تدریج و همزمان با آب (۳۰ درصد) به مخلوط اضافه شدند و ۱ دقیقه با سرعت کم مخلوط گردیدند [۱۴]. خمیر کیک در قالب‌های آلومینیومی پخت ریخته شد و کیک‌ها در فر با دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه پخته شدند. بعد از پخت کیک‌ها از قالب خارج شده و در دمای اتاق به مدت یک ساعت خنک شدند. در نهایت کیک‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته بندی شده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تا زمان آزمون نگهداری شدند. کیک تهیه شده از

نشده است، در این تحقیق از تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن به عنوان جایگزین صمغ به منظور دستیابی به بافت مطلوب مورد استفاده قرار گرفت. از سوی دیگر در این تحقیق قصد بر این است تا به جای استفاده از آرد به عنوان ماده اولیه، از دانه پوست کنده به منظور تیماردهی استفاده کرد. دلیل استفاده از دانه ارزن به جای آرد این است که تیمارهای فیزیکی آرد نظیر آسیاب کردن می‌توانند آسیب شدید به گرانول‌های نشاسته وارد کنند و این گرانول‌های آسیب دیده در مراحل بعدی نسبت به عوامل خارجی از جمله آنزیم‌ها، جذب آب، ژلاتینه شدن و... حساس تر می‌شوند. بنابراین در صورت استفاده از دانه به جای آرد، کمترین آسیب فیزیکی به گرانول‌ها وارد می‌شود و فقط اثر تیمار حرارتی بر گرانول‌های سالم بررسی می‌شوند. همچنین در دانه ارزن برخلاف گندم که در طی آسیاب جوانه را جدا می‌کنند، به دلیل ریز بودن دانه و عدم وجود تکنولوژی مناسب امکان جداسازی جوانه وجود ندارد و لذا در زمان آسیاب کردن، به دانه و جوانه آسیب وارد می‌شود و روغن موجود در جوانه وارد آرد شده و ماندگاری آرد را کاهش می‌دهد. همچنین ضمن اینکه مقدار روغن دانه ارزن حتی بیشتر از گندم است، بنابراین بهتر است تا حد امکان فاصله زمانی تولید آرد ارزن و استفاده از آن در فرمولاسیون فرآورده بدون گلوتن به حداقل برسد. از طرفی حمل و نقل دانه، رطوبت دهی (مشروط کردن دانه)، اعمال تیمار حرارتی و انبار کردن دانه به مراتب با سهولت بیشتری نسبت به آرد انجام می‌شود. بنابراین اگر در واحد تولید محصول بدون گلوتن یک آسیاب معمولی وجود داشته باشد می‌توان دانه‌ها را در کوتاهترین زمان نسبت به فرایند تولید محصول تبدیل به آرد کرده و استفاده نمود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

در این تحقیق از ارزن معمولی یا پروسو (*panicum Miliaceum*) که در سال ۱۳۹۶ از خراسان رضوی برداشت و توسط آسیاب سایشی پوست گیری شد و همچنین از برنج رقم فجر (تهیه شده از شالیکوبی معتبر) استفاده شد. ارزن و برنج بعد از شستن با آب شهری در آون و در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت ۱۰ درصد خشک شد. سپس توسط آسیاب آزمایشگاهی آرد (آسان طوس شرق، مدل ۱۰۰۰، ایران) و از الک شماره ۸۰ (با اندازه منافذ ۱۸۰ میکرون) عبور

درصد بر اساس وزن آرد می‌باشد ۱۰.

مقایسه شد. جهت سهولت در به‌کارگیری اسامی تیمارها در متن، از علائم اختصاری برای آن‌ها استفاده شد. تیمارهای بکار رفته در جدول ۱ نام‌گذاری شدند.

آرد ارزن تیمار نشده به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. برای بررسی تأثیر آرد تیمار شده به روش‌های حرارتی-رطوبتی بر خصوصیات خمیر و کیک بدون گلوتن، مقدار ثابت ۵۰ درصد آرد ارزن تیمار شده و ۵۰ درصد آرد برنج استفاده شد و سپس با نمونه حاوی آرد شاهد (تیمار نشده) به همراه صمغ زانتان

**Table 1** Abbreviations used for different formulation of cake

Abbreviation	Heat-moisture treatment		Millet flour (%)	Rice flour (%)	Xanthan gum (%)
	Treatment (°C)	(%) Moisture			
R*	0	0	0	100	0
C**	0	0	50	50	0
C-0.15	0	0	50	50	0.15
HMT*** 10-90	90	10	50	50	0
HMT 10-110	110	10	50	50	0
HMT 15-90	90	15	50	50	0
HMT 15-110	110	15	50	50	0
HMT 20-90	90	20	50	50	0
HMT 20-110	110	20	50	50	0

\* Rice

\*\*Control

\*\*\*Heat-moisture treatment

ویسکوزیته نمونه‌ها برحسب پاسکال ثانیه گزارش شد [۱۷].

#### ۲-۲-۵- آزمون‌های کیک

##### ۲-۲-۵-۱- افت پخت

جهت اندازه‌گیری این کمیت، وزن خمیر ریخته شده در هر قالب و وزن کیک پس از یک ساعت سرد شدن در دمای محیط اندازه‌گیری شد. سپس میزان افت پخت طبق رابطه‌ی زیر اندازه‌گیری شد [۱۸].

$$\text{افت پخت} = \frac{(w1-w2)}{w1} \times 100$$

W1 = وزن خمیر، W2 = وزن کیک بعد از پخت و یک ساعت

سرد شدن در دمای محیط

##### ۲-۲-۵-۲- حجم مخصوص

حجم مخصوص کیک‌ها با استفاده از روش جابجایی دانه‌های کلزا اندازه‌گیری شد. در این روش ابتدا وزن و حجم مقدار مشخصی از دانه‌های کلزا تعیین و دانسیته توده‌ای دانه‌های کلزا محاسبه شد. سپس کیک (یک کیک کامل) به همراه دانه‌های کلزا در یک ظرف با ابعاد مشخص قرار گرفته و توزین شد و حجم کیک گردید. در نهایت حجم مخصوص کیک با تقسیم حجم کیک بر وزن آن محاسبه گردید.

#### ۲-۲-۳- ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آرد برنج

##### و ارزن

آزمون‌های شیمیایی آرد بر اساس استاندارد AACC (۲۰۰۰)، شامل رطوبت (۱۵-۴۴)، خاکستر (۰۱-۰۸)، پروتئین (۱۲-۴۶) و چربی (۱۰-۳۰) انجام شدند. میزان کربوهیدرات نیز به صورت تفریق میزان رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی از ۱۰۰ محاسبه شد [۱۵].

#### ۲-۲-۴- ارزیابی خصوصیات خمیر کیک

##### ۲-۲-۴-۱- وزن مخصوص

برای اندازه‌گیری این کمیت حجم مخصوص مشخصی از خمیر کیک و آب دوبار تقطیر در دمای یکسان (۲۵ درجه سانتی‌گراد) وزن گردید و سپس با تقسیم وزن خمیر کیک بر وزن آب مقطر وزن مخصوص محاسبه شد [۱۶].

##### ۲-۲-۴-۲- ویسکوزیته

ویسکوزیته خمیر کیک توسط ویسکومتر چرخشی بروکفیلد ساخت آمریکا (مدل LVDV-π+pro) و با اسپیندل S07 اندازه‌گیری شد. بطوریکه نمونه در یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس در سرعت ۳۰ دور در دقیقه میزان

## ۲-۲-۵-۳- تخلخل

دیسیکاتور سرد و توزین شد. میزان رطوبت با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (AACC, 2000, 44-16) [۱۵].

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

$W1$  = وزن اولیه نمونه و ظرف،  $W2$  = وزن ظرف و نمونه پس از رسیدن به وزن ثابت،  $m$  = وزن اولیه نمونه (گرم)

## ۲-۲-۵-۷- ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی نمونه‌های کیک شامل بافت، رنگ و ظاهر، طعم، بو و پذیرش کلی توسط ده نفر ارزیاب آموزش دیده مورد ارزیابی قرار گرفتند. به این منظور از روش ارزیابی ۹ نقطه‌ای (۱ = بسیار نامطلوب، ۵ = متوسط، ۹ = بسیار مطلوب) استفاده شد [۱۷].

## ۲-۲-۶- آنالیزهای آماری

در این تحقیق کلیه آزمون‌ها در سه تکرار انجام گرفت. در این پژوهش تاثیر دو فاکتور مختلف رطوبت تیمار حرارتی-رطوبتی و دمای تیمار حرارتی-رطوبتی بر خصوصیات کیک توسط طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس و مقایسه تیمارها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- ویژگی‌های شیمیایی آرد ارزن و برنج

ترکیب شیمیایی آرد برنج و آرد ارزن پروسو در جدول ۲ آورده شده است. آرد ارزن در مقایسه با آرد برنج دارای میزان چربی و پروتئین بالاتری است. از آنجایی که آرد ارزن در مقایسه با سایر غلات دارای میزان چربی نسبتاً بالاتری است، در معرض اکسیداسیون قرار گرفته و دارای انبارمانی پایین‌تری در شرایط محیطی می‌باشد. بنابراین با استفاده از تیمارهای حرارتی مانند تیمار حرارتی-رطوبتی می‌توان انبارمانی آن را بهبود بخشید.

به منظور ارزیابی میزان تخلخل کیک از تکنیک پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور برشی به ابعاد  $20 \times 20 \times 20$  میلی‌متر از مغز کیک تهیه شد و به وسیله اسکنر (اچ پی، مدل SCANJET G3110، آمریکا) با وضوح ۶۰۰ نقطه در اینچ تصویربرداری شد. سپس تصویر تهیه شده در اختیار نرم افزار Image j نسخه (1.42e) قرار گرفت [۱۹].

## ۲-۲-۵-۴- رنگ پوسته و مغز کیک

جهت ارزیابی رنگ پوسته و مغز کیک، از دستگاه رنگ سنج (Loviband, Clour and Appearance Measurement System, England) استفاده شد. آنالیز رنگ به صورت سه شاخص  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  صورت پذیرفت.

## ۲-۲-۵-۵- ارزیابی بافت کیک

بافت مغزکیک در روز پخت و همچنین روز هفتم بعد از پخت، با استفاده از آزمون آنالیز پروفایل بافت (TPA) توسط دستگاه بافت سنج (شرکت استیل میکروسیستم، مدل TA.XT plus، انگلستان) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای آماده سازی نمونه پس از برداشتن پوسته کیک، یک قطعه مکعبی  $20 \times 20 \times 20$  میلی‌متر از مغز کیک تهیه شد. سپس با استفاده از یک پروب استوانه‌ای آلومینیومی (قطر ۲۵ میلی‌متر)، به اندازه ۱۰ میلی‌متر (۵۰ درصد) از بافت کیک فشرده شد. سرعت نیروی وارد شده حین آزمون ۲ میلی‌متر بر ثانیه و زمان تاخیر بین دو سیکل ۳۰ ثانیه بود. سه فاکتور سفتی<sup>۱</sup> (نیوتن)، انسجام<sup>۲</sup> و قابلیت ارتجاع<sup>۳</sup> بافت کیک توسط منحنی نیرو-زمان گزارش شد [۲۰].

## ۲-۲-۵-۶- رطوبت کیک

میزان رطوبت کیک در روزپخت، سه و هفت روز پس از پخت در طی نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت. به این صورت که ۳ گرم از مغز کیک در ظروف فلزی مخصوص اندازه‌گیری رطوبت که از قبل به وزن ثابت رسیده و توزین شده ریخته و پس از ۶۰ ساعت نگهداری در دمای محیط به منظور خشک شدن اولیه نمونه، در آون با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از رسیدن به وزن ثابت، ظرف حاوی نمونه در

1. Hardness  
2. Cohesiveness  
3. Springiness

Table 2 Proximate composition of rice flour and millet flour (wb %)

Sample	Moisture	Protein	Lipid	Ash
Rice flour	10±0.15 <sup>a</sup>	9.06±0.21 <sup>b</sup>	1.4±0.07 <sup>b</sup>	0.56±0.05 <sup>a</sup>
Millet flour	10±0.10 <sup>a</sup>	11.1±0.25 <sup>a</sup>	2.85±0.1 <sup>a</sup>	0.95±0.02 <sup>a</sup>

Mean values ± SD. Means with different superscripts in columns indicate significant differences among samples ( $p < 0.05$ ).

## ۲-۳- خمیر

## ۱-۲-۳- وزن مخصوص خمیر

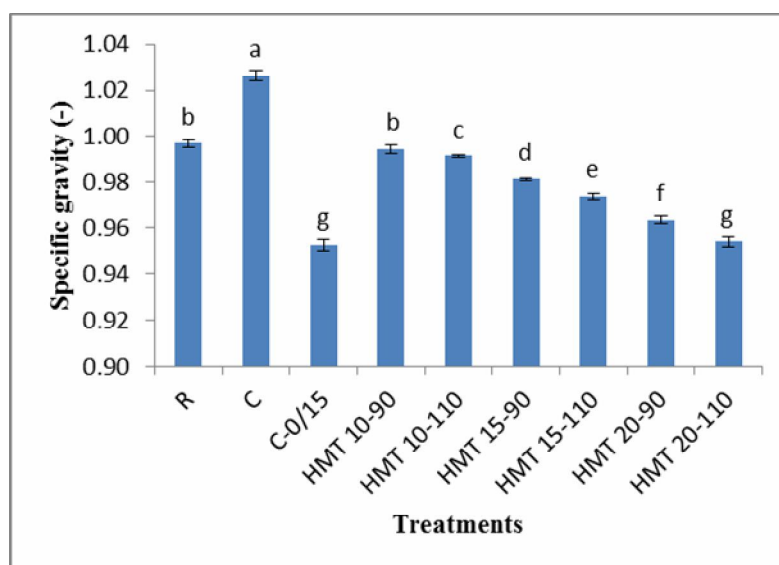
تاثیر استفاده از آرد حاصل از دانه ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی بر وزن مخصوص خمیر کیک در شکل ۱ آورده شده است. هرچه وزن مخصوص کمتر باشد حباب‌های گاز موجود در خمیر بیشتر بوده، در نتیجه در طول پخت حباب‌های بیشتری تشکیل داده و منجر به حجم مخصوص بیشتر کیک می‌گردد [۱۶]. بررسی داده‌های حاصل نشان داد با جایگزینی آرد برنج با آرد ارزن به میزان ۵۰ درصد، وزن مخصوص خمیر نسبت به نمونه تهیه شده از ۱۰۰ درصد آرد برنج به طور معنی‌داری افزایش یافت ( $p < 0.05$ ) که این امر می‌تواند به دلیل کاهش نگه‌داری گاز در خمیر باشد ( $p < 0.05$ ). از طرفی با افزودن آرد حاصل از دانه‌های تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی، میزان وزن مخصوص خمیر کیک به طور معنی‌داری کاهش یافت بطوریکه خمیر حاصل از تیمار ۲۰-۱۱۰ HMT با نمونه حاوی ۰/۱۵ درصد صمغ تفاوت معنی‌داری نداشت ( $p < 0.05$ ). استفاده از آرد حاصل از دانه تیمار شده موجب به دام افتادن بیشتر حباب‌های هوا در خمیر و در نتیجه افزایش حجم مخصوص کیک گردید. گواسمی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند وزن مخصوص خمیر با افزایش میزان جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن با رقم بارنیارد<sup>۱</sup> (*Echinochloa utilis*) افزایش یافت [۲۱]. فتحی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که افزودن آرد ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی به خمیر کیک، موجب کاهش وزن مخصوص خمیر کیک شد، به طوری که با افزایش رطوبت و دما، میزان وزن مخصوص خمیر افزایش یافت [۱۷]. کریمی

(۱۳۹۵) گزارش کرد با افزودن آرد نخود تیمار شده به روش حرارتی به خمیر کیک بر پایه آرد برنج، وزن مخصوص خمیر کیک کاهش یافت [۲۲].

## ۲-۲-۳- ویسکوزیته

نتایج حاصل از تأثیر شرایط مختلف تیمارها بر ویسکوزیته خمیر کیک در شکل ۲ آورده شده است. ویسکوزیته خمیر تعیین‌کننده میزان حباب‌های هوا، نحوه توزیع آن‌ها، بافت و پذیرش حسی محصول نهایی می‌باشد [۲۳]. ویسکوزیته پایین خمیر موجب کاهش حجم مخصوص کیک می‌گردد، چون خمیر توانایی به دام انداختن حباب‌های هوا را نداشته و در نتیجه این حباب‌ها به سطح خمیر رفته و در فر پخت از کیک خارج می‌گردند [۲۴]. با این حال ویسکوزیته بالا نیز همیشه موجب افزایش حجم مخصوص کیک نمی‌گردد و همواره یک ویسکوزیته کافی و بهینه برای به وجود آوردن حجم مخصوص بالا نیاز است [۲۵]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد با جایگزینی آرد برنج با آرد ارزن، میزان ویسکوزیته خمیر نسبت به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد برنج کاهش یافت. از طرفی با افزایش رطوبت و دمای تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن، ویسکوزیته کیک به طور قابل توجهی نسبت به نمونه حاوی آرد تیمار نشده افزایش یافت که می‌تواند به دلیل به دام افتادن بیشتر حباب‌های هوا توسط آرد تیمار شده در خمیر کیک باشد. همچنین در آرد تیمار شده جذب آب، قدرت تورم و ژلاتینه شدن نشاسته و همچنین دنانوراسیون پروتئین افزایش می‌یابد [۲۶]. بیشترین ویسکوزیته مربوط به تیمار ۲۰-۱۱۰ HMT بود و اختلاف اندکی با ویسکوزیته فرمولاسیون حاوی صمغ زانتان داشت، هر چند که این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ).

1. Barnyard millet

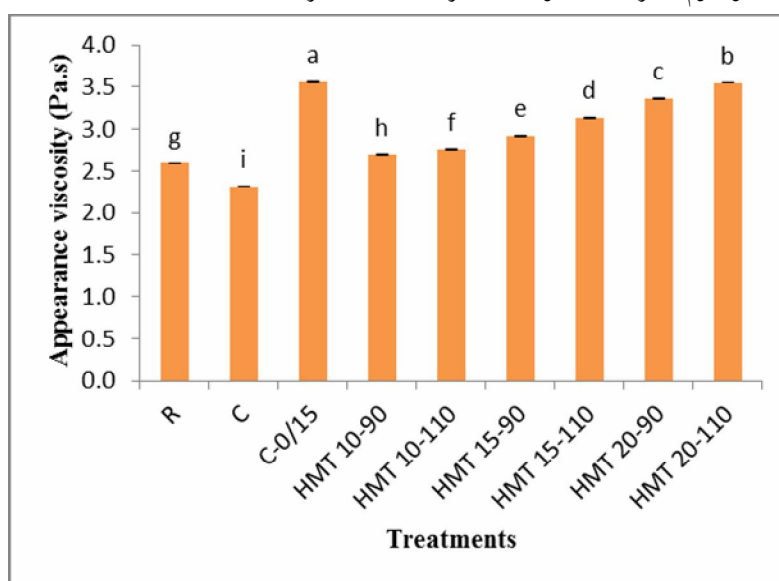


**Fig 1** Specific gravity of cake batters prepared from different treatments

Mean values  $\pm$  SD. Means with different superscripts indicate significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ).

نسبت به خمیر حاوی آرد تیمار نشده افزایش یافت که این به دلیل تورم گرانول‌های نشاسته و ژلاتینه شدن آن‌ها بود [۲۸]. فتحی و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که خمیر تهیه شده از آرد ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی، ویسکوزیته بیشتری نسبت به آرد تیمار نشده داشت [۱۷].

راجیو و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند با جایگزینی بیشتر از ۶۰ درصد آرد ارزن انگشتی با آرد گندم میزان ویسکوزیته خمیر مافین کاهش یافت که نشان دهنده اختلاط ضعیف هوا می‌باشد [۲۷]. مارستون و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند با اعمال تیمار حرارتی آرد سورگوم، میزان ویسکوزیته خمیر



**Fig 2** Viscosity of cake batters prepared from different treatments

Mean values  $\pm$  SD. Means with different superscripts indicate significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ).

برنج با آرد ارزن، میزان افت پخت به طور معنی‌داری افزایش یافت ( $p < 0.05$ ) که دلیل این امر کاهش ظرفیت نگهداشت آب توسط آرد ارزن می‌باشد. از طرفی با افزودن صمغ زانتان و همچنین با افزایش دما و رطوبت تیمار حرارتی-رطوبتی میزان افت وزن کیک در طول پخت کاهش یافت. بیشترین میزان افت

### ۳-۳-۳ کیک

#### ۳-۳-۱-۱ افت پخت

نتایج مربوط به افت پخت در جدول ۳ نشان داده شده است. افت پخت نشان دهنده کاهش وزن کیک در طول فرآیند پخت است. طبق نتایج به دست آمده از آنالیز آماری، با جایگزینی آرد

یافت که دلیل این امر کاهش ویسکوزیته خمیر و در نتیجه کاهش قابلیت نگهداری حباب‌های هوا به داخل آن می‌باشد. کمترین حجم مخصوص و تخلخل مربوط به کیک حاصل از دانه تیمار نشده بود و تیمار ۲۰-۱۱۰ HMT دارای بالاترین حجم مخصوص و تخلخل بوده و از این لحاظ با نمونه حاوی ۰/۱۵ درصد صمغ زانتان تفاوت معنی‌داری نداشت ( $p < 0/05$ ). با اعمال تیمار حرارتی بر روی آرد، شاهد افزایش ویسکوزیته در خمیر هستیم. این افزایش ویسکوزیته موجب نگهداشت هوا در خمیر و افزایش حجم مخصوص و تخلخل می‌شود [۲۰]. استفاده از صمغ زانتان در افزایش حجم مخصوص و تخلخل نمونه‌های کیک نسبت به نمونه شاهد در برخی تحقیقات گزارش شده است [۱۶،۳۰]. جیوتسنا و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن انگشتی موجب کاهش حجم مخصوص کیک گردید. خمیر تهیه شده از ۱۰۰ درصد آرد ارزن دارای کمترین حجم مخصوص بود که به دلیل ویسکوزیته کم قادر به نگهداری هوا نبوده و در نتیجه حجم مخصوص کیک کاهش یافت. استفاده از امولسیفایرها و هیدروکلوئیدهای مختلف باعث افزایش ویسکوزیته خمیر و افزایش حجم مخصوص آن شد [۲۹]. مارستون و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند با افزایش دما و زمان تیماردهی آرد سورگوم، تخلخل و حجم مخصوص در کیک و نان افزایش یافت [۲۸]. فتحی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند آرد ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی حجم مخصوص کیک را بطور معنی‌داری افزایش داد [۱۷].

پخت مربوط به نمونه شاهد و کمترین میزان افت پخت مربوط به نمونه‌های تیمار شده ۲۰-۱۱۰ HMT بود. همچنین نتایج حاکی از آن است که کاهش افت پخت در نمونه‌های حاوی آرد حاصل از دانه‌های تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی به طور قابل توجهی بالاتر از نمونه حاوی صمغ زانتان بوده که دلیل آن را می‌توان افزایش ظرفیت نگهداشت آب در آرد تیمار شده دانست، این امر موجب می‌شود رطوبت کمتری در طول پخت تبخیر شود و در نتیجه افت وزن کمتری بعد از پخت مشاهده می‌شود. سومنو و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند صمغ زانتان افت پخت نمونه‌های کیک فاقد گلوتن را طی دوره نگهداری نسبت به نمونه کنترل کاهش داد [۱۸]. گواسمی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند با افزایش میزان جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن بارنیارد، میزان افت وزن در طول پخت کاهش یافت. بیشترین افت پخت مربوط به کیک تهیه شده از ۱۰۰ درصد آرد ارزن بود و کیک گندم کمترین افت پخت را داشت. آن‌ها بیان داشتند ظرفیت اتصال آب بالاتر آرد گندم موجب می‌شود رطوبت کمتری در طول پخت تبخیر شود و بنابراین افت وزن کمتری وجود داشت [۲۱]. فتحی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند با افزایش دما و رطوبت طی تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن، کیک حاصل دارای افت پخت کمتری بود [۱۷].

### ۳-۲-۳- حجم مخصوص و تخلخل کیک

جدول ۳ داده‌های بدست آمده از آزمون‌های حجم مخصوص و تخلخل را نشان می‌دهد. طبق نتایج بدست آمده با جایگزینی آرد ارزن به آرد برنج، حجم مخصوص و تخلخل کیک کاهش

**Table 3.** Baking loss, Specific volume and porosity values of cake samples prepared from different treatments

Treatments	(%) Cooking loss	(cm <sup>3</sup> /g) Specific volume	Porosity(%)
R	14.84±0.05 <sup>b</sup>	2.18±0.10 <sup>b</sup>	33.67±0.06 <sup>c</sup>
C	14.84±0.04 <sup>a</sup>	1.79±0.08 <sup>g</sup>	27.81±0.09 <sup>g</sup>
C-0.15	14.22±0.05 <sup>c</sup>	2.22±0.07 <sup>a</sup>	34.70±0.01 <sup>a</sup>
HMT 10-90	14.18± 0.02 <sup>cd</sup>	1.83±0.11 <sup>f</sup>	29.25±0.04 <sup>f</sup>
HMT 10-110	14.12± 0.08 <sup>d</sup>	1.86±0.17 <sup>c</sup>	31.20±0.08 <sup>e</sup>
HMT 15-90	13.47± 0.07 <sup>c</sup>	2.04±0.08 <sup>d</sup>	32.74±0.08 <sup>d</sup>
HMT 15-110	12.86± 0.07 <sup>f</sup>	2.09±0.15 <sup>c</sup>	33.69±0.04 <sup>bc</sup>
HMT 20-90	12.90±0.07 <sup>f</sup>	2.08±0.10 <sup>c</sup>	33.78±0.04 <sup>b</sup>
HMT 20-110	12.72±0.02 <sup>g</sup>	2.20±0.08 <sup>a</sup>	34.66±0.04 <sup>a</sup>

Mean values ± SD. Means with different superscripts in columns indicate significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ).



## ۳-۳-۳- سفتی بافت کیک

سفتی به عنوان حداکثر نیروی لازم برای فشردن بافت کیک تا یک میزان معین و در یک سرعت مشخص اندازه‌گیری می‌شود. نتایج حاصل از سفتی بافت نمونه‌های کیک در طول نگهداری در جدول ۴ گزارش شده است. نتایج سفتی در روز پخت نشان داد تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن در روز پخت به طور قابل توجهی بر بافت کیک تاثیر گذاشت، به طوری که تیمار ۱۱۰-۲۰ HMT دارای کمترین سفتی و حتی نرم‌تر از کیک حاوی ۰/۱۵ درصد صمغ بود. نمونه حاوی تیمار ۲۰-۹۰ HMT از نظر سفتی در روز پخت با نمونه حاوی صمغ تفاوت معنی‌داری نداشت ( $p < 0/05$ ). استفاده از آرد حاصل از دانه تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی در فرمولاسیون کیک باعث افزایش مقدار ورود حباب‌های هوای به خمیر می‌شود که این امر منجر به کاهش وزن مخصوص و افزایش ویسکوزیته خمیر شده و در نهایت بر حجم مخصوص و ویژگی‌های بافت کیک موثر است. با افزایش زمان نگهداری سفتی بافت کیک همه نمونه‌ها افزایش یافت. علت اصلی بیاتی در محصولات بدون گلوتن کاهش رطوبت و مهاجرت آسان‌تر رطوبت از مغز کیک به پوست، در نتیجه عدم حضور گلوتن باشد [۳۱]. با استفاده از تیمار حرارتی-رطوبتی آرد یا دانه، می‌توان کیک‌های با مدت ماندگاری بیشتر، بافت نرم‌تر و مغز مرطوب تولید نمود. مکانیسمی که تیمار حرارتی به وسیله آن آرد را بهبود می‌دهد کاملاً شناخته شده نیست اما مشخص است که در طول

فرآیند تیمار حرارتی، غیرطبیعی شدن پروتئین، ژلاتینه شدن جزئی گرانول‌های نشاسته و نیز افزایش ویسکوزیته خمیر اتفاق می‌افتد [۲۶]. در روز هفتم نمونه شاهد (آرد ارزن و برنج با نسبت ۵۰:۵۰) دارای بیشترین سفتی و نمونه حاصل از تیمار ۱۱۰-۲۰ HMT به طور معنی‌داری کمتر از نمونه‌های دیگر و همچنین نمونه حاوی صمغ بود ( $p < 0/05$ ). حجت الاسلامی و عزیز (۲۰۱۵) گزارش کردند با افزودن صمغ زانتان و گوار به کیک حاصل از آرد برنج، میزان سفتی بافت در روز پخت و ۷ روز بعد از نگهداری کاهش یافت [۳۲]. جیوتسنا و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند با جایگزینی آرد گندم با آرد ارزن انگشتی، سفتی کیک‌ها افزایش یافت که دلیل آن کاهش ویسکوزیته خمیر و در نتیجه کاهش حجم مخصوص و افزایش سفتی بافت کیک بود. اما استفاده از امولسیفایرها و هیدروکلوئیدهای مختلف باعث افزایش ویسکوزیته خمیر و افزایش حجم مخصوص و بهبود بافت آن‌ها آن شد [۲۹]. مارستون و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند تیمار حرارتی موجب افزایش هوای وارد شده به خمیر در طول اختلاط و کاهش وزن مخصوص خمیر کیک و در نتیجه کاهش سفتی کیک می‌گردد [۲۸]. فتحی و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن بر سفتی کیک موثر است، به طوری که با افزایش رطوبت و دمای تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن، سفتی نمونه‌ها در روز پخت و همچنین طی نگهداری کاهش یافت [۱۷].

Table 4. Hardness values of cake samples prepared from different treatments

Treatments	Hardness (N)	
	(7 days after baking)	(2 hours after baking)
R	7.911±0.012 <sup>Bd</sup>	5.320±0.113 <sup>Ade</sup>
C	9.049±0.076 <sup>Ba</sup>	6.545±0.107 <sup>Aa</sup>
C-0.15	7.796±0.069 <sup>Be</sup>	5.113±0.173 <sup>Af</sup>
HMT 10-90	8.804±0.017 <sup>Bb</sup>	6.142±0.085 <sup>Ab</sup>
HMT 10-110	8.775±0.101 <sup>Bb</sup>	5.900±0.027 <sup>Ac</sup>
HMT 15-90	8.231±0.108 <sup>Bc</sup>	5.367±0.040 <sup>Ad</sup>
HMT 15-110	7.715±0.034 <sup>Be</sup>	5.169±0.035 <sup>Aef</sup>
HMT 20-90	7.701±0.09 <sup>Be</sup>	5.120±0.065 <sup>Af</sup>
HMT 20-110	7.385±0.029 <sup>Bf</sup>	4.743±0.128 <sup>Ag</sup>

Mean values ± SD. Means with different superscripts in columns indicate significant differences among treatments and means with different superscripts in rows indicate significant differences in treatment during storage ( $p < 0.05$ ).

## ۳-۳-۴- انسجام بافت کیک

میزان کمی بالاتر از نمونه حاوی تیمار حرارتی-رطوبتی بود. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که صمغ بافتی مشابه شبکه گلوتن را تشکیل می‌دهد و به همین دلیل دارای انسجام بالاتری طی نگهداری است. نمونه شاهد (۵۰ درصد آرد ارزن و ۵۰ درصد آرد برنج) نیز دارای کمترین میزان انسجام بود. کاهش انسجام می‌تواند به دلیل افت جاذبه بین مولکولی بین ترکیبات تشکیل دهنده کیک، خشک شدن و تمایل به خرد شدن در طول بیاتی باشد. فتیحی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند استفاده از آرد ارزن تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی باعث بهبود انسجام بافت کیک ارزن نسبت به نمونه شاهد در طول نگهداری شد [۱۷]. کریمی (۱۳۹۵) گزارش کرد با افزودن آرد نخود تیمار شده به روش حرارتی به کیک بر پایه آرد برنج، انسجام نمونه‌های کیک در روز پخت و همچنین در روز نگهداری افزایش یافت [۲۲].

انسجام بیان‌کننده مقاومت درونی ساختار ماده غذایی است و به میزان تجزیه در دهان و خرد شدن آسان در دست نسبت داده می‌شود. در جدول ۵ نتایج مربوط به میزان انسجام نمونه‌های کیک در طول نگهداری ارائه شده است. با جایگزینی آرد برنج با آرد ارزن، میزان انسجام کیک به طور معنی‌داری کاهش یافت ( $p < 0.05$ ). در تیمار حرارتی-رطوبتی با افزایش رطوبت و دمای تیمار میزان انسجام بهبود یافت. نتایج حاصل از انسجام نمونه‌ها در روز پخت نشان می‌دهد نمونه حاصل از تیمار ۲۰-۱۱۰ HMT دارای بالاترین انسجام بوده و از این لحاظ با نمونه حاوی تیمار ۱۵-۱۱۰ HMT و نمونه حاوی صمغ اختلاف معنی‌داری نداشت. در روز هفتم نگهداری نیز تاثیر تمام فاکتورهای مورد بررسی بر روی انسجام کیک معنی‌دار بود. نتایج حاصل از میزان انسجام نمونه‌ها در روز هفتم نگهداری نشان داد میزان انسجام نمونه حاوی صمغ به

Table 5 Cohesiveness values of cake samples prepared from different treatments

Treatments	Cohesiveness (-)	
	(7 days after baking)	(2 hours after baking)
R	0.259±0.055 <sup>Bde</sup>	0.639±0.008 <sup>Ad</sup>
C	0.215±0.007 <sup>Bg</sup>	0.543±0.012 <sup>Af</sup>
C-0.15	0.325±0.006 <sup>Ba</sup>	0.667±0.006 <sup>Aab</sup>
HMT 10-90	0.250±0.003 <sup>Bef</sup>	0.565±0.012 <sup>Ae</sup>
HMT 10-110	0.248±0.010 <sup>Bf</sup>	0.557±0.003 <sup>Ac</sup>
HMT 15-90	0.265±0.004 <sup>Bcd</sup>	0.649±0.009 <sup>Acd</sup>
HMT 15-110	0.272±0.003 <sup>Bc</sup>	0.664±0.005 <sup>Abc</sup>
HMT 20-90	0.273±0.004 <sup>Bc</sup>	0.663±0.004 <sup>Aabc</sup>
HMT 20-110	0.294±0.008 <sup>Bb</sup>	0.680±0.005 <sup>Aa</sup>

Mean values ± SD. Means with different superscripts in columns indicate significant differences among treatments and means with different superscripts in rows indicate significant differences in treatment during storage ( $p < 0.05$ ).

## ۳-۳-۵- قابلیت ارتجاع

پخت و همچنین طی نگهداری بهبود یافت. طبق نتایج ارائه شده، با افزایش رطوبت و دما تیمار حرارتی-رطوبتی، میزان ارتجاع بافت کیک افزایش یافت. تیمار حرارتی-رطوبتی ۱۱۰-۲۰ HMT دارای بالاترین میزان ارتجاعیت در بین همه نمونه‌ها بود و با تیمارهای ۲۰-۹۰ HMT و ۱۵-۱۱۰ HMT تفاوت معنی‌داری نداشت ( $p < 0.05$ ). همچنین از این لحاظ از قابلیت ارتجاع نمونه حاوی صمغ بیشتر بود. این امر می‌تواند به دلیل ژلاتینه شدن نشاسته در طی تیمار حرارتی-رطوبتی و در نتیجه افزایش جذب آب، نرمی بافت، حجم مخصوص بالاتر و ارتجاعیت بیشتر باشد.

قابلیت ارتجاع، مقدار برگشت یک ماده غذایی به حالت اولیه پس از فشردن در دهان یا دست را شامل می‌شود. حالت ارتجاعی مطلوب کیک در ارتباط با تازگی، تخلخل و حالت الاستیکی آن است. هر چه میزان این شاخص بیشتر باشد، بافت محصول هنگام گاز زدن و جویدن احساس دهانی مطلوب‌تری دارد. مقادیر مربوط به پارامتر قابلیت ارتجاعی نمونه‌های کیک طی نگهداری در جدول ۶ ارائه شده است. با جایگزینی آرد برنج با آرد ارزن خام، قابلیت ارتجاع کیک حاصل کاهش یافت. از طرفی با افزودن صمغ زانتان و آرد حاصل از تیمار حرارتی-رطوبتی دانه ارزن، قابلیت ارتجاع بافت کیک در روز

**Table 6** Springiness values of cake samples prepared from different treatments

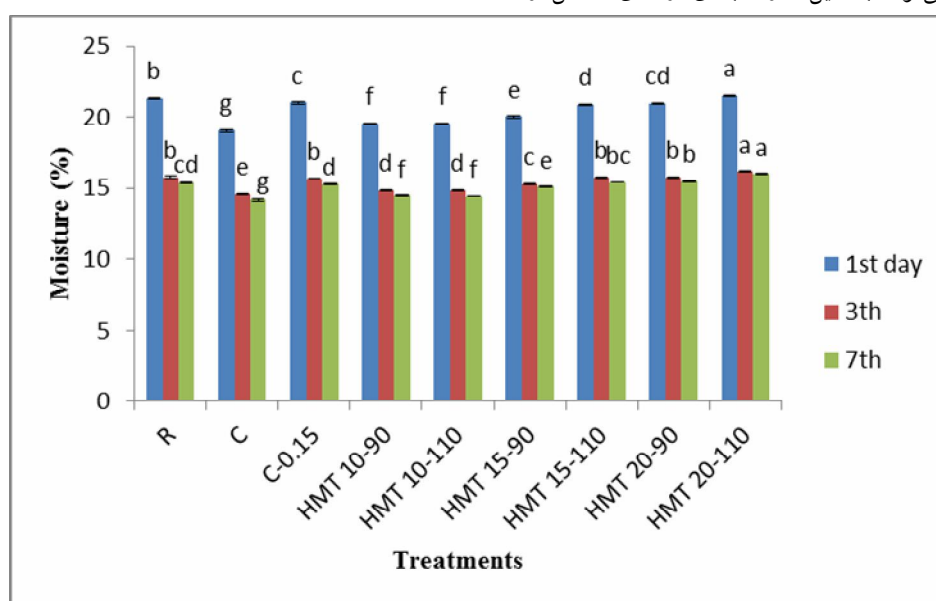
Treatments	Springiness (-)	
	(7 days after baking)	(2 hours after baking)
R	0.761±0.006 <sup>Be</sup>	0.929±0.005 <sup>AcD</sup>
C	0.747±0.003 <sup>Bf</sup>	0.921±0.003 <sup>Ad</sup>
C-0.15	0.839±0.009 <sup>Bb</sup>	0.948±0.008 <sup>Ab</sup>
HMT 10-90	0.759±0.005 <sup>Be</sup>	0.924±0.002 <sup>Ad</sup>
HMT 10-110	0.779±0.005 <sup>Bd</sup>	0.935±0.004 <sup>Ac</sup>
HMT 15-90	0.802±0.004 <sup>c</sup>	0.946±0.003 <sup>Ab</sup>
HMT 15-110	0.835±0.005 <sup>b</sup>	0.955±0.010 <sup>Aab</sup>
HMT 20-90	0.838±0.003 <sup>Bb</sup>	0.952±0.003 <sup>Aab</sup>
HMT 20-110	0.851±0.004 <sup>Ba</sup>	0.959±0.003 <sup>Aa</sup>

Mean values ± SD. Means with different superscripts in columns indicate significant differences among treatments and means with different superscripts in rows indicate significant differences in treatment during storage ( $p < 0.05$ ).

تیماردانه‌ها در جذب و نگهداشت آب در حین فرآیند پخت باشد. عباس‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند با افزودن صمغ زانتان به کیک حاصل از آرد برنج، میزان رطوبت کیک در روز پخت بطور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت [۳۳]. پورهاگن و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند نشاسته و آرد جو پیش تیمار شده، نگهداشت آب نان گندم را در طول نگهداری نسبت به نمونه شاهد بهبود می‌بخشد [۳۴]. بر خلاف نتایج حاصل، مشاهدات فتحی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد با افزایش شدت تیمار، میزان رطوبت کیک در روز پخت افزایش یافت اما این تیمارها نتوانستند میزان رطوبت را در طی نگهداری کیک حفظ کنند. آن‌ها گزارش کردند آردهای تیمار شده تنها دارای ظرفیت نگهداشت آب در طول پخت را دارا بود [۱۷].

### ۳-۳-۶- رطوبت

میزان رطوبت مغز کیک در روزهای مختلف نگهداری در شکل ۳ نشان داده شده است. تفاوت در فشار بخار بین پوسته و مغز کیک منجر به مهاجرت رطوبت از مغز به پوسته کیک می‌شود. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با جایگزینی آرد برنج با آرد ارزن (به میزان ۵۰ درصد)، میزان رطوبت مغز کیک به طور معنی‌داری کاهش یافت که دلیل این امر کاهش ظرفیت نگهداشت آب توسط آرد ارزن می‌باشد ( $p < 0.05$ ). با افزایش شدت تیمار حرارتی-رطوبتی دانه‌های ارزن، میزان رطوبت مغز کیک افزایش یافت. بیشترین مقدار رطوبت در روز پخت و طی نگهداری مربوط به نمونه حاصل از تیمار ۲۰-۱۱۰ HMT بود، به طوری که حتی از نمونه حاوی صمغ زانتان و همچنین نمونه تهیه شده از ۱۰۰ درصد آرد برنج، مقدار رطوبت بیشتری داشت. این امر می‌تواند به دلیل قدرت بالای آردهای حاصل از

**Fig 3** Moisture values of cake samples prepared from different treatments

Mean values ± SD. Means with different superscripts indicate significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ).

## ۳-۳-۷- رنگ پوسته و مغز کیک

رنگ یکی از فاکتورهای مهم در پذیرش کیک‌ها می‌باشد. رنگ پوسته و مغز کیک بصورت فاکتورهای ( $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ) در جدول ۷ بیان شده‌اند. طبق نتایج بدست آمده، با جایگزینی آرد برنج با آرد ارزن در فرمولاسیون کیک، میزان روشنایی مغز و پوسته کیک کاهش و میزان زردی و قرمزی مغز کیک کاهش یافت. استفاده از آرد حاصل از تیمار دانه‌های ارزن به روش حرارتی-رطوبتی میزان روشنایی مغز و پوسته کیک را بطور معنی‌داری کاهش و میزان زردی و قرمزی را افزایش داد ( $p < 0.05$ ). با افزایش دما و رطوبت میزان روشنایی کیک کاهش و زردی و قرمزی مغز کیک افزایش یافت. کیک حاصل از تیمار ۱۱۰-۲۰ HMT کمترین میزان روشنایی و بیشترین میزان زردی و قرمزی را بین تیمارهای حرارتی-رطوبتی داشت. بطور کلی میزان روشنایی پوسته کیک کمتر از مغز کیک و میزان زردی و قرمزی آن بیشتر از مغز کیک می‌باشد که این امر می‌تواند به دلیل ایجاد واکنش مایلارد و کارامل شدن در طی پخت در

پوسته کیک باشد، درحالی که رنگ مغز کیک تحت تاثیر ترکیبات تشکیل دهنده فرمولاسیون کیک قرار می‌گیرد. عمدتاً تیمار حرارتی-رطوبتی به دلیل واکنش مایلارد موجب تغییر رنگ و طعم می‌شود. صوفیان و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند با افزایش صمغ زانتان در فرمولاسیون کیک آرد بر پایه آرد برنج، میزان روشنایی و زردی کیک افزایش و میزان قرمزی کاهش یافت [۳۰]. نتایج فتحی و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد با افزایش شدت تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن، میزان روشنایی مغز کیک کاهش و میزان قرمزی افزایش یافت، اما روند خاصی در میزان زردی کیک مشاهده نکردند. همچنین بیان کردند که تیمار حرارتی-رطوبتی موجب کاهش روشنایی و افزایش شاخص  $a^*$  و  $b^*$  پوسته کیک گردید [۱۷]. کیم و همکاران (۲۰۱۷) تاثیر تیمار حرارتی-رطوبتی آرد برنج قهوه‌ای بر کیک بررسی کردند. طبق نتایج بدست آمده میزان روشنایی کیک با افزایش دما و زمان حرارت‌دهی کاهش و میزان زردی و قرمزی کیک افزایش یافت [۳۵].

Table 7 Crust and crumb indices of cake samples prepared from different treatments

Treatments	Crust indices of cake			Crumb indices of cake		
	$b^*$	$a^*$	$L^*$	$b^*$	$a^*$	$L^*$
R	20.8±0.1 <sup>a</sup>	10.1±0.4 <sup>c</sup>	79.7±0.4 <sup>a</sup>	17.3±0.3 <sup>g</sup>	2±0.1 <sup>h</sup>	89.2±0.2 <sup>a</sup>
C	17.8±0.1 <sup>h</sup>	11.8±0.1 <sup>c</sup>	70.2±0.2 <sup>c</sup>	18±0.2 <sup>f</sup>	4.9±0.1 <sup>f</sup>	84.5±0.1 <sup>c</sup>
C-0.15	19.1±0.1 <sup>d</sup>	11.1±0.1 <sup>d</sup>	71.8±0.2 <sup>b</sup>	20.2±0.1 <sup>bc</sup>	4.4±0.1 <sup>g</sup>	85.3±0.2 <sup>b</sup>
HMT 10-90	18.1±0.1 <sup>g</sup>	12.1±0.1 <sup>c</sup>	65.2±0.1 <sup>f</sup>	18.5±0.1 <sup>e</sup>	5.1±0.1 <sup>e</sup>	81.8±0.1 <sup>f</sup>
HMT 10-110	19±0.1 <sup>d</sup>	13.2±0.1 <sup>a</sup>	60.4±0.1 <sup>i</sup>	20.1±0.1 <sup>c</sup>	6.6±0.1 <sup>b</sup>	71.5±0.1 <sup>i</sup>
HMT 15-90	18.4±0.1 <sup>f</sup>	12.7±0.1 <sup>b</sup>	66.9±0.1 <sup>e</sup>	18.8±0.1 <sup>d</sup>	5.5±0.1 <sup>d</sup>	82.6±0.1 <sup>e</sup>
HMT 15-110	19.3±0.1 <sup>c</sup>	13.4±0.1 <sup>a</sup>	62.4±0.1 <sup>h</sup>	20.4±0.1 <sup>ab</sup>	7.6±0.1 <sup>a</sup>	73.6±0.1 <sup>h</sup>
HMT 20-90	18.6±0.1 <sup>e</sup>	12.9±0.1 <sup>b</sup>	68.5±0.1 <sup>d</sup>	19±0.2 <sup>d</sup>	5.9±0.1 <sup>c</sup>	83.7±0.2 <sup>d</sup>
HMT 20-110	19.5±0.1 <sup>b</sup>	13.5±0.1 <sup>a</sup>	64.4±0.2 <sup>g</sup>	20.7±0.1 <sup>a</sup>	7.8±0.1 <sup>a</sup>	74.8±0.2 <sup>g</sup>

Mean values ± SD. Means with different superscripts in columns indicate significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ).

## ۳-۳-۸- پذیرش حسی

نتایج حاصل از خصوصیات حسی در جدول ۸ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که با افزودن آرد حاصل از دانه‌های تیمار شده به کیک بر پایه برنج، کیفیت نمونه‌های حاصل نسبت به نمونه شاهد بهبود می‌یابد. به این دلیل که با اعمال تیمار حرارتی-رطوبتی، نشاسته موجود در آرد ژلاتینه شده و موجب جذب آب در محصول و نرم‌تر شدن آن نسبت به نمونه شاهد می‌گردد. تمام کیک‌های بدون گلوتن نمره بالاتر

از ۵ داشتند. نمونه‌های حاوی ۰/۱۵ درصد صمغ، تیمار با رطوبت ۲۰ درصد و دمای ۱۱۰ و ۹۰ درجه سانتی‌گراد و تیمار ۱۵ درصد و دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد دارای بالاترین پذیرش حسی بودند و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت ( $p < 0.05$ ). فتحی و همکاران (۲۰۱۶) طی مطالعه‌ای تاثیر تیمار حرارتی-رطوبتی آرد ارزن بر کیک حاصل از آن گزارش کردند با افزایش تیمار حرارتی-رطوبتی تاثیر مثبتی بر میزان پذیرش کلی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد مشاهده شد.

و بوی نامطلوب ناشی از واکنش مایلارد و فرآیند شدید حرارتی در آنها باشد [۱۷].

اما نمونه حاصل از شدیدترین حالت تیماردهی که تیمار با رطوبت ۳۰ درصد و دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد بود پایین‌ترین میزان پذیرش کلی را داشت که دلیل این امر می‌تواند ایجاد مزه

**Table 8** Sensory evaluation values of cake samples prepared from different treatments

Treatments	Texture	Taste	Odor	Color and appearance	Total acceptability
R	7.20±0.63 <sup>c</sup>	7.45±0.55 <sup>bc</sup>	7.35±0.47 <sup>b</sup>	8.15±0.41 <sup>bc</sup>	7.13±0.89 <sup>bcd</sup>
C	5.75±0.59 <sup>d</sup>	5.70±0.71 <sup>d</sup>	5.59±0.55 <sup>cd</sup>	7.55±0.44 <sup>cd</sup>	6.31±0.43 <sup>de</sup>
C-0.15	7.35±0.75 <sup>c</sup>	7.50±0.58 <sup>bc</sup>	7.15±0.88 <sup>b</sup>	8.20±0.42 <sup>b</sup>	7.75±0.61 <sup>ab</sup>
HMT 10-90	4.65±0.63 <sup>e</sup>	5.40±0.66 <sup>d</sup>	5.55±0.50 <sup>d</sup>	5.70±0.42 <sup>g</sup>	6.19±0.51 <sup>e</sup>
HMT 10-110	7.30±0.79 <sup>c</sup>	5.75±0.49 <sup>d</sup>	5.60±0.57 <sup>d</sup>	5.60±0.52 <sup>g</sup>	6.56±0.51 <sup>de</sup>
HMT 15-90	7.20±0.59 <sup>c</sup>	7.30±0.48 <sup>c</sup>	6.50±0.47 <sup>b</sup>	6.70±0.42 <sup>f</sup>	6.88±0.78 <sup>cde</sup>
HMT 15-110	7.59±0.60 <sup>b</sup>	7.60±0.88 <sup>bc</sup>	7.20±0.63 <sup>b</sup>	7.30±0.48 <sup>e</sup>	7.44±0.63 <sup>abc</sup>
HMT 20-90	8.70±0.48 <sup>a</sup>	8.20±0.48 <sup>ab</sup>	8.55±0.50 <sup>a</sup>	7.80±0.42 <sup>cd</sup>	7.81±0.86 <sup>ab</sup>
HMT 20-110	8.55±0.50 <sup>a</sup>	8.50±0.47 <sup>a</sup>	8.40±0.52 <sup>a</sup>	8.60±0.52 <sup>a</sup>	8.19±0.35 <sup>a</sup>

Mean values ± SD. Means with different superscripts in columns indicate significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ).

## ۵- منابع

- [1] Cauvain SP, Cyster JA. Sponge Cake Technology, CCFRA Review No. 2. CCFRA, Chipping, Campden, UK. 1996:54-65.
- [2] Blades M. Food allergies and intolerances: an update. Nutrition & Food Science. 1997 Aug 1;97(4):146-51.
- [3] Fasano A. Celiac disease: how to handle a clinical chameleon. New England Journal of Medicine. 2003 Jun 19;348(25):2568-70.
- [4] Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Trends in Food Science & Technology. 2004 Mar 1;15(3-4):143-52.
- [5] Saleh AS, Zhang Q, Chen J, Shen Q. Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2013 May;12(3):281-95.
- [6] Arendt E, Dal Bello F, editors. Gluten-free cereal products and beverages. Elsevier; 2011 Apr 28.
- [7] Devi PB, Vijayabharathi R, Sathyabama S, Malleshi NG, Priyadarisini VB. Health benefits of finger millet (*Eleusine coracana* L.) polyphenols and dietary fiber: a review. Journal of Food Science and Technology. 2014 Jun 1;51(6):1021-40.
- [8] Hoover R. The impact of heat-moisture

## ۴- نتیجه گیری

به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد استفاده از تیمار حرارتی-رطوبتی بر دانه ارزن، می‌تواند موجب بهبود کیفیت محصولات بدون گلوتن بدون استفاده از صمغ گردد. کاربرد آرد حاصل از دانه تیمار شده به روش حرارتی-رطوبتی توانست باعث افزایش ویسکوزیته و در نتیجه افزایش قابلیت ورود هوا به خمیر طی مخلوط کردن خمیر گردد. در نتیجه این امر می‌تواند باعث افزایش حجم مخصوص و تخلخل کیک نیز گردد. تیمار حرارتی-رطوبتی با افزایش نگهداشت آب در طول پخت به طور معنی‌داری موجب افزایش میزان رطوبت مغز کیک حتی بیشتر از نمونه حاوی صمغ گردید ( $p < 0.05$ )؛ به طوری که با افزایش رطوبت و دمای تیمار، رطوبت کیک‌ها افزایش یافت. همچنین تیمار حرارتی-رطوبتی موجب نرمی محصول نهایی گردید و توانست اثر صمغ مورد استفاده در فرمولاسیون کیک را حذف کند و میزان بیاتی را طی دوره نگهداری به تعویق بیندازد. در کل کیک حاوی آرد حاصل از دانه تیمار شده در شرایط رطوبت ۲۰ درصد و دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به طور معنی‌داری دارای بافت نرم‌تر و میزان رطوبت مغز بیشتری طی نگهداری نسبت به نمونه حاوی صمغ داشت.

- Journal of Food Science & Technology. 2010 Jan 1;45(1):87-93.
- [19] Haralick RM, Shanmugam K. Textural features for image classification. IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics. 1973 Nov(6):610-21.
- [20] Lebesi DM, Tzia C. Use of endoxylanase treated cereal brans for development of dietary fiber enriched cakes. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2012 Jan 1;13:207-14.
- [21] Goswami, D., Gupta, R. K., Mridula, D., Sharma, M., & Tyagi, S. K. (2015). Barnyard millet based muffins: Physical, textural and sensory properties. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), 374-380.
- [22] Karimi abdolmaleki N. Effect of heat treated chickpea flour on quality attributes of rice-based gluten free cake [dissertation]. Gorgan: Agricultural Sciences and Natural Resources, MSc. Faculty of Food Science and Engineering ; 2018 [in Persian].
- [23] Jia C, Huang W, Ji L, Zhang L, Li N, Li Y. Improvement of hydrocolloid characteristics added to angel food cake by modifying the thermal and physical properties of frozen batter. Food Hydrocolloids. 2014 Dec 1;41:227-32.
- [24] Delcour JA, Hoseney RC. Principles of Cereal Science and Technology Third Edition. American Association of Cereal Chemists. Inc., St. Paul, MN. 2010.
- [25] Gularte MA, Gómez M, Rosell CM. Impact of legume flours on quality and in vitro digestibility of starch and protein from gluten-free cakes. Food and Bioprocess Technology. 2012 Nov 1;5(8):3142-50.
- [26] Neill G, Ala'a H, Magee TR. Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. Journal of food engineering. 2012 Dec 1;113(3):422-6.
- [27] Rajiv J, Soumya C, Indrani D, Venkateswara Rao G. Effect of replacement of wheat flour with finger millet flour (Eleusine corcana) on the batter microscopy, rheology and quality characteristics of muffins. Journal of Texture Studies. 2011 Dec;42(6):478-89.
- [28] Marston K, Khouryieh H, Aramouni F. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. LWT-Food Science and Technology. 2016 Jan 1;65:637-44.
- [29]. Jyotsna R, Soumya C, Swati S, Prabhasankar P. Rheology, texture, quality treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2010 Sep 30;50(9):835-47.
- [9] Mehrabanshndi A. Study of physicochemical characteristics of gluten-free batter and sponge cake [dissertation]. Gorgan: Agricultural Sciences and Natural Resources, MSc. Faculty of Food Science and Engineering ; 2013 [in Persian].
- [10] Vidya S, Ravi R, Bhattacharya S. Effect of thermal treatment on selected cereals and millets flour doughs and their baking quality. Food and Bioprocess Technology. 2013 May 1;6(5):1218-27.
- [11] Chung HJ, Cho A, Lim ST. Effect of heat-moisture treatment for utilization of germinated brown rice in wheat noodle. LWT-Food Science and Technology. 2012 Jul 1;47(2):342-7.
- [12] Chung HJ, Cho A, Lim ST. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. LWT-Food Science and Technology. 2014 Jun 1;57(1):260-6.
- [13] Fathi b. Effect of heat moisture and extrusion treatments on physicochemical properties of millet flour, batter and cake [dissertation]. Gorgan: Agricultural Sciences and Natural Resources, PhD. Faculty of Food Science and Engineering ; 2017 [in Persian].
- [14] Bennion EB, Bamford GS, Bent AJ. Cake-making processes. In the technology of cake making 1997 (pp. 251-274). Springer, Boston, MA.
- [15] American Association of Cereal Chemists. Approved Methods Committee. Approved Methods of the AACC. 1962.
- [16] Turabi E, Sumnu G, Sahin S. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. Food hydrocolloids. 2008 Mar 1;22(2):305-12.
- [17] Fathi B, Aalami M, Kashaninejad M, Sadeghi Mahoonak A. Utilization of Heat-Moisture Treated Proso Millet Flour in Production of Gluten-Free Pound Cake. Journal of Food Quality. 2016 Dec;39(6):611-9.
- [18] Sumnu G, Koksel F, Sahin S, Basman A, Meda V. The effects of xanthan and guar gums on staling of gluten-free rice cakes baked in different ovens. International

- 2015 Apr 15;2(2):29-37.
- [33] Abaszadeh F, AlamiM, Sadeghi A, Kashani M. Effect of Almond Protein Concentrate and Xanthan Gum on Physicochemical Properties and Tissue of Brass Dough and Cake2016; 4(15):107-118 [in Persian].
- [34] Purhagen JK, Sjöö ME, Eliasson AC. The anti-staling effect of pre-gelatinized flour and emulsifier in gluten-free bread. *European Food Research and Technology*. 2012 Aug 1;235(2):265-76.
- [35] Kim MJ, Oh SG, Chung HJ. Impact of heat-moisture treatment applied to brown rice flour on the quality and digestibility characteristics of Korean rice cake. *Food Science and Biotechnology*. 2017 Jan 1:1-8.
- characteristics and immunochemical validation of millet based gluten free muffins. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2016 Dec 1;10(4):762-72.
- [30] Sofian A, AlamiM, Sadeghi A, Ghorbani M, Ziaiefar A. Use of sweet almond and xanthan gum in the production of gluten-free cakes. *Iranian Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*. 2014; 3(2):185-196 [in Persian].
- [31] Ahlborn GJ, Pike OA, Hendrix SB, Hess WM, Huber CS. Sensory, mechanical, and microscopic evaluation of staling in low-protein and gluten-free breads. *Cereal chemistry*. 2005 May;82(3):328-35.
- [32] Hojjatoleslami M, Azizi MH. Impact of tragacanth and xanthan gums on the physical and textural characteristics of gluten-free cake. *Nutrition and Food Sciences Research*.

## Comparison of the effect of heat-moisture treatment of millet grain and addition of xanthan gum on the characteristics of the batter and physicochemical and sensory properties of gluten-free cake

Mohajer khorasani, S. <sup>1</sup>, Alami, M. <sup>2\*</sup>, Kashaninejad, M. <sup>3</sup>, Shahiri Tabarestani, H. <sup>4</sup>

1. MSc student of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Associate Professor of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Professor of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan Gorgan, Iran. University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
4. Assistant Professor of Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

(Received: 2019/01/15 Accepted:2019/05/28)

Usually, raw and unmodified flours are used in the gluten-free products industry and the most common way to increase the quality of gluten-free products is to use gums. In order to increase consumer demand for non-additive products, we can improve the quality of flour and gluten-free cake by using physical treatment of cereal grains. The aim of this study was to compare the effect of xanthan gum with the effect of heat-moisture treatment on physicochemical and sensory properties of gluten-free cake from millet and rice flour (50:50). In this study, the effects of xanthan gum on two levels 0 and 0.15 %, heat-moisture treatments at three levels of moisture 10, 15 and 20% and two levels of temperature 90 and 110° C on physicochemical and sensory properties of batter and gluten-free cake from millet and rice flour (50:50) were compared. The results showed, with increasing moisture and temperature in the heat-moisture treatment, the specific weight of the batter decreased and its viscosity increased. also, the physicochemical and sensory properties of cake such as specific volume, porosity and texture of cake were significantly improved on the baking day and during maintenance compared to the control sample ( $p < 0.05$ ). So that the samples containing millet flour obtained at 20% moisture and 110°C did not show significant differences in the physicochemical and sensorial properties of the samples containing 0.15% xanthan gum ( $P < 0.05$ ). Based on the findings of this study, heat-moisture treatment can be a good alternative to gum in gluten-free cakes.

**Key words:** Gluten free cake, Millet, Rice, Heat-moisture treatment, Xanthan gum.

---

\*Corresponding Author E-Mail Address: mehralami@gau.ac.ir