Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Food Processing and Preservation

Print ISSN: 2322 - 2069
Online ISSN: 2322 - 2794

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Effect of heat-moisture treatment of brown rice flour and natural additives on the properties of gluten-free frozen cake batter

Sahar Akhavan Mahdavi[1] | Mehran Alami[2*] | Aman Mohammad Ziaifar[3] | Yahya Maghsoudlou[4]

[1] Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[2] Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran, Email: mehranalami@gmail.com
[3] Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[4] Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 20.02.2021
Revised: 11.03.2021
Accepted: 12.03.2021

Keywords:
Frozen batter
Gluten free cake
Heat-moisture treatment
Xanthan
Xylitol

ABSTRACT

Background and objectives: Nowadays, the use of frozen dough and batter has been considered by both producers and consumers. Frozen dough technology has permeated all baking products, including cakes. However, the freezing process due to the formation of ice crystals can have destructive effects on the structure of the dough and the food. In addition, in the production of frozen bakery products, it is necessary to maintain the quality and improve the shelf life and quality of the final product through various additives. Therefore, in this study, we try to use additives including xylitol (5 and 10%) and xanthan (0.5 and 1%) along with heat-moisture treatment (HMT) in the preparation of frozen cake batter layer formulation.

Materials and Methods: In this cake, brown rice flour was used to produce a gluten-free cake. Flours were subjected to different heat and moisture treatments. The produced batter is then subjected to freezing and thawing, and finally the physicochemical properties of the batter were investigated.

Results: The highest specific gravity of cake batter belonged to the samples prepared without HMT and the lowest weight belonged to the sample without additives and with HMT treatment. The peak value of the control starch distribution curve was higher than the treated starch and the particle size distribution of the control starch was relatively concentrated. D50 was calculated from starch granules for the control sample of 23.889 μm and the treated sample for 21.344 μm. Therefore, freezing and heat-humidity treatment led to a reduction in the average particle size of starch grains in the batter. The results show that the peak, trough and final viscosity of the samples containing xanthan were significantly higher ($P<0.05$). Trough and peak viscosity increased with the addition of xylitol while decreasing viscosity decreased significantly. Xanthan-containing treatments had significantly higher viscosity. Also, with increasing xanthan concentration, viscosity increased significantly. After freezing and storage for one week, the number of bubbles and bubble uniformity decreased while the bubble size increased compared to freshly controlled batter. HMT process increased the initial (To), peak (Tp) and final (Tc) gelatinization temperature of the treated sample compared to the untreated sample. Addition of xanthan gum increased the viscosity of the batter, therefore, the

onset temperature of gelatinization.

Conclusion: In this study, for the first time in Iran, frozen cake batter was produced and its properties were improved by adding xanthan and xylitol and applying heat-moisture treatment. In general, the results showed that by applying heat-moisture treatment and adding xylitol and xanthan, it is possible to reduce the defects related to reducing the quality of frozen cake dough, which can lead to its further use.

Cite this article: Akhavan Mahdavi, S., Alami وM., Ziaifar, A.M., Maghsoudlou, Y. 2022. Effect of heat-moisture treatment of brown rice flour and natural additives on the properties of gluten-free frozen cake batter. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13 (3), 115-132.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJFPP.2021.18885.1654
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵۴۴-۲۴۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲۴۲۳

اثر تیمار حرارتی–رطوبتی آرد برنج قهوه ای و افزودنی‌های طبیعی بر ویژگی‌های خمیر کیک منجمد بدون گلوتن

سحر اخوان مهدوی[۱] | مهران اعلمی[۲*] | امان‌محمد ضیایی‌فر[۳] | یحیی مقصودلو[۴]

۱.دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲.دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، رایانامه: mehranalami@gmail.com
۳.دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۴.دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۲

واژه‌های کلیدی:
خمیر منجمد
کیک بدون گلوتن
تیمار حرارتی – رطوبتی
زانتان
زایلیتول

چکیده

سابقه و هدف: امروزه تولید و کاربرد خمیرهای منجمد کانون توجه برای تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان فراورده های نانوایی و پخت قرارگرفته است. تکنولوژی خمیرهای منجمد به‌تمامی فرآورده‌های پخت ازجمله کیک‌ها راه‌یافته است. بااین‌وجود، فرآیند انجماد به علت ایجاد کریستال‌های یخ می‌تواند آثار تخریبی بر ساختار خمیر و ماده غذایی داشته باشد. علاوه بر این، در تولید فرآورده‌های پخت به‌صورت منجمد نیاز به حفظ کیفیت و ارتقاء ماندگاری و کیفیت محصول نهایی از طریق افزودنی‌های متعددی می‌باشد. لذا هدف از این پژوهش استفاده از افزودنی‌هایی شامل زایلیتول (۵ و ۱۰ درصد) و زانتان (۰/۵ و ۱ درصد) به همراه اعمال تیمار حرارتی-رطوبتی (HMT) در تهیه فرمولاسیون خمیر منجمد کیک لایه‌ای بود.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر از آرد برنج قهوه‌ای جهت تولید کیک فاقدگلوتن استفاده شد. بدین منظور نمونه‌های آرد برنج قهوه‌ای در معرض تیمار حرارتی رطوبتی شامل ۳۰ درصد رطوبت و ۵ ساعت حرارت‌دهی در ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خمیر تولیدشده شامل وزن مخصوص، اندازه گرانول نشاسته، ویسکوزیته، ویژگی‌های حرارتی و مشاهدات میکروسکوپی پس از قرارگیری در شرایط انجماد و رفع انجماد بررسی شد.

یافته‌ها: بیشترین وزن مخصوص خمیر کیک متعلق به نمونه‌های خمیر کیک تهیه‌شده بدون اعمال HMT و کمترین آن مربوط به نمونه بدون افزودنی و با اعمال تیمار HMT بود ($P\leq ۰/۰۵$). مقدار پیک منحنی توزیع نشاسته شاهد بالاتر از نشاسته تیمار شده بود و توزیع اندازه ذرات نشاسته شاهد نسبتاً یکنواخت بود. قطر گرانول‌های نشاسته که حجم ذرات کوچکتر از آن ۵۰ درصد حجم کل ذرات موجود سیستم را تشکیل می‌دهد (D_{50}) در نمونه شاهد ۸۸۹/۲۳ میکرومتر و در نمونه تیمارشده ۳۴۴/۲۱ میکرومتر محاسبه شد؛ بنابراین انجماد و تیمار حرارتی-رطوبتی منجر به کاهش در اندازه ذرات متوسط دانه‌های نشاسته در خمیر شد. کاهش معنی‌داری در ویسکوزیته افت و ویسکوزیته برگشت نمونه‌ها تحت تأثیر HMT وجود داشت ($P\leq ۰/۰۵$). نتایج نشان می‌دهد که ویسکوزیته بیشینه، نگهداری و نهایی نمونه‌های حاوی زانتان به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($P\leq ۰/۰۵$). ویسکوزیته نگهداری و بیشینه با افزودن زایلیتول

افزایش یافت؛ درحالی‌که ویسکوزیته افت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تیمارهای حاوی زانتان به‌طور معنی‌داری ویسکوزیته بالاتری داشتند. همچنین با افزایش غلظت زانتان، ویسکوزیته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. پس از انجماد و نگهداری به مدت یک هفته، تعداد و یکنواختی حباب‌ها نسبت به نمونه شاهد منجمدنشده کاهش یافت؛ در حالی‌که اندازه حباب‌ها نسبت به خمیر تازه شاهد گسترش یافت. فرآیند حرارتی- رطوبتی موجب افزایش دمای شروع (T_o)، اوج (T_p) و نهایی (T_c) ژلاتینه شدن نمونه تیمار شده نسبت به نمونه شاهد گردید .با افزودن صمغ زانتان ضمن افزایش ویسکوزیته خمیر، دمای شروع ژلاتیناسیون افزایش یافت. تغییرات آنتالپی در بازه دمایی ۲۵ تا ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد در نمونه‌های حاوی زانتان به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر نمونه‌ها بود ($P\leq$۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: در این پژوهش برای اولین بار در ایران خمیر کیک منجمد تولید و ویژگی‌های آن با افزودن زانتان و زایلیتول و اعمال تیمار حرارتی-رطوبتی بهبود یافت. به‌طورکلی نتایج نشان داد اعمال تیمار حرارتی-رطوبتی و افزودن زایلیتول و زانتان با کاهش نواقص مربوط به افت کیفیت خمیر منجمد کیک می‌تواند منجر به توسعه کاربردی شود.

استناد: اخوان مهدوی، س.، اعلمی، م.، ضیایی‌فر، الف.م.، مقصودلو، ی. (۱۴۰۰). اثر تیمار حرارتی- رطوبتی آرد برنج قهوه‌ای و افزودنی‌های طبیعی بر ویژگی‌های خمیر کیک منجمد بدون گلوتن. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۳(۳)، ۱۱۵-۱۳۲.

DOI: 10.22069/EJFPP.2021.18885.1654

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

فرآورده‌های نانوایی جزء مهم‌ترین و اصلی‌ترین محصولات غذایی مورداستفاده در کشورها و فرهنگ‌های مختلف به شمار می‌روند. از میان این محصولات، کیک به‌واسطه ویژگی‌های ارگانولپتیک مناسب، مورد استقبال و پسند مصرف‌کننده‌ها واقع شده است (۲۰). آرد به‌عنوان مهم‌ترین ماده اولیه در کیک، موجب تثبیت ساختار کیک می‌شود و برای به‌دست آوردن محصول ایده‌آل، استفاده از آرد با ویژگی‌های عملکردی بهبودیافته، اهمیت بسیاری دارد. با توجه به این‌که در بسیاری از مواقع کیفیت آردهای مورداستفاده در کیک مناسب نمی‌باشد و در حال حاضر تولید کیک در کشور بسیار فراوان بوده و از طرفی مسئله رقابت در بین کارخانه‌های تولیدکننده کیک و کلوچه مطرح می‌باشد؛ لذا ارائه روش‌هایی جهت بهبود ویژگی‌های آرد ضروری به نظر می‌رسد (۱۴).

امروزه یکی از روش‌های افزایش کیفیت آرد، استفاده از تیمار حرارتی است که می‌تواند برای بهبود عملکرد آرد و فرآورده‌های بدون گلوتن در صنایع پخت مورد استفاده قرار گیرد (۲۳). یکی از این موارد، استفاده از تیمار حرارتی-رطوبتی آرد کیک برای بهبود کیفیت آرد تولیدی می‌باشد که انتظار می‌رود با توجه به تغییراتی که در بافت کیک حاصله انجام می‌گیرد مورد استقبال مصرف‌کنندگان قرار گیرد. در این فرایند، آرد در دمای بالاتر از ژلاتینه شدن نشاسته (۱۳۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد) حرارت دهی شده و به‌علت استفاده از رطوبت کم (۳۵-۱۵ درصد) از ژلاتینه شدن نشاسته جلوگیری می‌گردد (۳۰). مطالعات پیشین نشان می‌دهد که کیک‌های پخته‌شده با آرد گندم حرارت دیده خاصیت ارتجاعی بیش‌تری را نشان می‌دهد و سفتی آن‌ها کاهش می‌یابد. با اعمال فرآوری حرارتی-رطوبتی در آرد گندم ویژگی‌های سطحی گرانول‌های نشاسته گندم از آب‌دوستی به آب‌گریزی تغییر می‌یابد و با افزایش درجه آب‌گریزی دانه‌های نشاسته حرارت دیده ثبات حباب‌های هوا در خمیر کیک افزایش می‌یابد (۶). بر اساس آزمون بافت‌سنجی سطح کیک‌های پخته‌شده با آرد گندم حرارت ندیده بعداز اعمال نیروی وزنه چسبندگی بالا بدون برگشت را نشان داد؛ درحالی‌که فرآوری حرارتی-رطوبتی ضمن برطرف کردن عیوب بافتی مذکور در افزایش حجم کیک موثر است (۶).

از طرف دیگر، امروزه کاربرد خمیرهای منجمد هم برای تولیدکنندگان و هم مصرف‌کنندگان مورد توجه قرارگرفته است. استفاده از خمیر منجمد، به‌ویژه در نانوایی‌های فروشگاهی از مزایایی برخوردار است؛ ازجمله برای پخت نیاز به پرسنل بسیار آموزش‌دیده نیست. بعلاوه، وجود بوی نان تازه پخته‌شده در فروشگاه‌های بزرگ یک مزیت مهم به‌شمار می‌رود. از طرف دیگر، خمیر منجمد را می‌توان تا زمان نیاز نگهداری و جهت استفاده انجماد زدایی نمود و بدین ترتیب ضایعات را نیز کاهش داد. از مزیت‌های دیگر تولید خمیر منجمد، تولید مقادیر زیاد خمیر توسط پرسنل آموزش‌دیده به‌صورت متمرکز و سهولت انتقال این خمیر نسبتاً متراکم به مناطق دوردست است. (۷، ۳۳). بااین‌وجود، در فرآیند انجماد هم‌زمان با رشد بلورهای یخ در طی نگهداری، ظرفیت جذب آب پروتئین‌ها کم می‌شود و درنتیجه منجر به ایجاد خمیری چسبنده و مرطوب با ساختاری غیر نرم و خشن می‌شود (۷). علاوه بر این، در تولید فرآورده‌های پخت به‌صورت منجمد نیاز به حفظ کیفیت و ارتقاء ماندگاری و کیفیت محصول نهایی از طریق افزودنی‌های متعدد می‌باشد (۳۲، ۳۵). همچنین کیفیت محصولات پخت حاصله از خمیرهای منجمد متأثر از فرمولاسیون خمیر و شرایط تولید نظیر زمان مخلوط کردن و شرایط نگهداری می‌باشد. از طرفی،

استفاده از ترکیبی از بهبوددهنده‌ها، امولسیفایرها و سایر هیدروکلوئیدها می‌تواند منجر به بهبود کیفیت کیک حاصل از خمیر منجمد شود (۱۷). امولسیفایرها و هیدروکلوئیدها در بهبود حجم، بافت، تأخیر بیاتی، مقاومت خمیر در طی انجمادزدایی و کاهش واپس‌گرایی[1] نشاسته مؤثر هستند. به‌علاوه، هیدروکلوئیدها آسیب‌های فیزیکی ناشی از کریستال‌های یخ را در محصولات منجمد کاهش می‌دهند و منجر به بهبود پایداری حین نگهداری به‌صورت منجمد و بهبود پایداری حین رفع انجماد می‌شوند (۱۲).

پژوهش‌های متعددی نیز در خصوص کاربرد افزودنی‌هایی ازجمله جایگزین‌های چربی، شکر و انواع بهبوددهنده‌ها بر کیفیت کیک و سایر محصولات پخت صورت گرفته است. بااین‌حال کاربرد تیمار حرارتی-رطوبتی بر تولید خمیر منجمد بر پایه آرد بدون گلوتن به همراه افزودنی‌هایی همانند زایلیتول و زانتان بر محصولات پخت صورت نگرفته است. علاوه بر این، تاکنون گزارشی پیرامون تولید خمیر منجمد کیک و تأثیر چرخه انجماد و رفع انجماد در فرمولاسیون خمیر کیک وجود ندارد. لذا در این پژوهش سعی بر این است که اثر افزودنی‌هایی شامل زایلیتول (۵ و ۱۰ درصد) و زانتان (۰/۵ و ۱ درصد) و تیمارهای حرارتی-رطوبتی آرد برنج قهوه‌ای در تولید و تعیین ویژگی‌های خمیر منجمد کیک بدون گلوتن طی شرایط انجماد-رفع انجماد بررسی شود.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: برنج قهوه‌ای از شرکت گلستان تهیه شد و پس از خیساندن به مدت ۱۰ ساعت در آب و آسیاب کردن از الک با اندازه منافذ ۱۵۰ میکرون (مش ۱۰۰) عبور کرد و تا زمان استفاده داخل کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در یخچال نگهداری شد. روغن مایع کانولا، شکر، تخم‌مرغ، بیکینگ‌پودر از بازار محلی تهیه شد. تمامی مواد شیمیایی و حلال‌های مورداستفاده در این پژوهش از شرکت‌های معتبر و با درجه خلوص بالا تهیه شدند.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد برنج قهوه‌ای: اندازه‌گیری اسیدیته، pH ، رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی آرد مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۶۲ انجام شد.

اعمال تیمار حرارتی - رطوبتی[2] (HMT): برای تنظیم میزان رطوبت آرد برنج قهوه‌ای به ۳۰ درصد، با محاسبه رطوبت اولیه آرد و تفاضل رطوبت اولیه از رطوبت مورد نظر، مقدار کافی از آب مقطر به آرد اسپری و کاملاً مخلوط شد. برای به تعادل رسیدن رطوبت، نمونه‌ها (۲ کیلوگرم) در کیسه‌های پلی‌اتیلنی در ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت یک شب نگهداری شدند. سپس آردهای مرطوب شده در ظروف شیشه‌های درب‌دار ریخته شده و در یک آون هوای داغ در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت حرارت داده شد. بعد از حرارت دهی، آردها از ظروف، خارج و تا رسیدن به رطوبت حدود ۹ درصد در آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نمونه‌های آرد تیمار شده مجدداً آسیاب شده و پس از عبور از الک با مش استاندارد ۸۰ (۱۸۰ میکرومتر) در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی شدند (۱۰).

آماده‌سازی خمیر: فرمولاسیون خمیر کیک لایه‌ای بر اساس روش گولارت و همکاران (۲۰۱۲) با اندکی تغییر انجام شد. ترکیبات تشکیل‌دهنده فرمولاسیون شامل ۳۳ درصد آرد، ۳۳ درصد پودرقند، ۱۰ درصد روغن گیاهی، ۲۳درصد تخم مرغ و ۱ درصد بیکینگ پودر بود. به منظور تهیه خمیر کیک ابتدا روغن و

1. Retrogradation

2. Heat Moisture Treatments

شکر به مدت ۱۰ دقیقه تا تولید یکرنگ کرم با هم مخلوط شدند. سپس تخم‌مرغ‌ها در چند مرحله به مخلوط اضافه و هم زده شدند. در انتها آرد الک شده تا به دست آمدن ترکیبی یکنواخت به مخلوط افزوده و هم‌زده شد. میزان ۵۰ گرم از خمیرهای تولیدشده در فریزر ۱۸- درجه سانتی‌گراد به مدت یک هفته در کیسه‌های پلی اتیلنی نگهداری شد. رفع انجماد خمیرها نیز در سامانه تولید کننده مایکروویو به مدت ۳ دقیقه با توان ۷۰ وات انجام شد. خمیر شاهد (بدون انجماد و تازه) نیز بلافاصله پس از تولید مورد آزمون قرار گرفت (۱۳).

تیماربندی: در این پژوهش از دو سطح زانتان (۰/۵ و ۱ درصد) و زایلیتول (۵ و ۱۰ درصد) و اعمال تیمار رطوبتی- حرارتی مطابق جدول ۱ استفاده شد. از ده تیمار اشاره شده در جدول، بخشی از نمونه‌های خمیر منجمد (چهار تیمار) توسط خشک‌کن انجمادی به‌صورت پودر درآمدند و تحت آزمون‌های RVA و DSC قرار گرفتند. این چهار نمونه شامل تیمار HMT بدون افزودنی (H^+)، نمونه تیمار HMT نشده بدون افزودنی (H^-)، نمونه تیمار HMT شده و حاوی ۱ درصد زانتان و ۵ درصد زایلیتول $H^+Xa_1Xy_5$ و نمونه تیمار HMT شده و حاوی ۰/۵ درصد زانتان و ۱۰ درصد زایلیتول $H^+Xa_{0.5}Xy_{10}$ بودند.

جدول ۱- عناوین تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش و توضیحات آن

Table 1-Treatments used in this study and their description

تیمارها Treatments	توضیحات تیمارها Description of treatments
$Xa_0Xy_0H^-$	بدون افزودنی- بدون تیمار HMT No additives - No HMT treatment
$Xa_0Xy_0H^+$	بدون افزودنی – اعمال تیمار HMT No additive - apply HMT treatment
$Xa_{0.5}Xy_5H^+$	افزودن ۰/۵٪ زانتان، ۵٪ زایلیتول – تیمار HMT Add 0.5% xanthan, 5% xylitol - HMT treatment
$Xa_{0.5}Xy_{10}HT^+$	افزودن ۰/۵٪ زانتان، ۱۰٪ زایلیتول – تیمار HMT Add 0.5% xanthan, 10% xylitol - HMT treatment
$Xa_1Xy_5H^+$	افزودن ۱٪ زانتان، ۵٪ زایلیتول – تیمار HMT Add 1% xanthan, 5% xylitol - HMT treatment
$Xa_1Xy_{10}H^+$	افزودن ۱٪ زانتان، ۱۰٪ زایلیتول – تیمار HMT Add 1% xanthan, 10% xylitol - HMT treatment
$Xa_{0.5}Xy_5H^-$	افزودن ۰/۵٪ زانتان، ۵٪ زایلیتول Add 0.5% xanthan, 5% xylitol
$Xa_{0.5}Xy_{10}H^-$	افزودن ۰/۵٪ زانتان، ۱۰٪ زایلیتول Add 0.5% xanthan, 10% xylitol
$Xa_1Xy_5H^-$	افزودن ۱٪ زانتان، ۵٪ زایلیتول Add 1% xanthan, 5% xylitol
$Xa_1Xy_{10}H^-$	افزودن ۱٪ زانتان، ۱۰٪ زایلیتول Add 1% xanthan, 10% xylitol

وزن مخصوص خمیر: وزن مخصوص خمیر کیک بر طبق روش آشوینی و همکاران (۲۰۰۹) از تقسیم وزن مقدار مشخصی از خمیر به وزن آب مقطر هم‌حجم آن به‌دست آمد. در این پژوهش وزن مخصوص از طریق محاسبه نسبت وزن ۲۴۰ میلی‌لیتر از خمیر کیک به وزن ۲۴۰ میلی‌لیتر آب اندازه‌گیری شد (۱).

تعیین توزیع اندازه گرانول نشاسته: جهت تعیین اندازه و توزیع گرانول‌های نشاسته از دستگاه آنالایزر اندازه ذرات لیزری (Jinan Runzhi، مدلv809، چین) استفاده شد (۲). نمونه‌های خمیر شامل نمونه شاهد و نمونه خمیر منجمد حاوی افزودنی‌ها و تیمارحرارتی-رطوبتی پس از یک هفته نگهداری در انجماد (HMT-F) با اتانول به‌عنوان محیط پراکنده‌کننده اندازه‌گیری شدند. سرعت هم زدن دستگاه ۸۵۰ دور در دقیقه و سرعت پمپ ۱۲۰۰ دور در دقیقه بود. داده‌های توزیع اندازه ذرات بر اساس روش تفرق نور لیزر محاسبه و تحلیل شد (۲).

آنالیز سریع ویسکوزیته[1] **(RVA):** رای رسم منحنی ویسکوزیته از دستگاه اندازه‌گیری سریع ویسکوزیته (Perten، مدل R5، استرالیا) استفاده شد. مقدار ۳ گرم پودر لیوفیلیزه خمیر منجمد صاف‌شده با الک، با ۲۵ میلی‌لیتر آب مخلوط و ارزیابی خمیری شدن بر اساس برنامه TCW[2] صورت گرفت و پارامترهای حاصل مورد بررسی قرار گرفت (۲۳).

آزمون ویسکوزیته: جهت تعیین ویسکوزیته از روش لی و همکاران (۲۰۱۴) استفاده شد. به این منظور ۶۰۰ میلی‌لیتر از خمیر کیک بلافاصله پس از مخلوط شدن به یک بشر منتقل شد. ویسکوزیته توسط ویسکومتر بروکفیلد با اسپیندل شماره ۴ در سرعت ۲۰ دور در دقیقه اندازه‌گیری شد. خمیر آماده‌شده بدون هیچ افزودنی به‌عنوان نمونه شاهد و چهار تیمار پس از انجماد و رفع انجماد خمیر مورد بررسی قرار گرفتند (۲۱).

مشاهده میکروسکوپی خمیر: لایه نازکی از خمیر (معادل ۲ گرم خمیر تازه و خمیر رفع انجماد شده) روی لام میکروسکوپ (Labomed، مدل DL7، آمریکا) قرار داده شد و لامل روی خمیر قرار گرفت. سپس نمونه توسط میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی X10مشاهده شد. توزیع و اندازه حباب‌ها برحسب سانتی‌متر مربع با استفاده از نرم‌افزار Image J با استفاده از روش لی و همکاران (۲۰۱۱) ارزیابی شد (۲۲).

آزمون DSC[3]: جهت انجام این آزمون از دستگاه DSC (Shimadzu، مدل b06x، ژاپن) استفاده شد. بدین منظور مقدار ۴ میلی‌گرم از نمونه‌های لیوفیلیزه در ظروف آلومینیومی کوچک توزین و پس از افزودن ۸ میکرولیتر آب مقطر درب ظرف مربوطه کاملاً بسته شد. به‌منظور ایجاد تعادل بین نمونه و محیط، نمونه‌ها حدود نیم ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند. از یک ظرف آلومینیومی حاوی ۸ میکرولیتر آب مقطر بدون اضافه کردن نمونه‌ها، به‌عنوان تیمار شاهد استفاده شد. طی یک برنامه دمایی تنظیم‌شده از ۲۵ تا ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد نمونه‌ها با نرخ دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه و در حضور گاز بی اثر آرگون حرارت دهی شدند. داده‌های مربوط به دمای آغاز T_0، دمای اوج T_p ، دمای پایان Tc و آنتالپی ژلاتینه شدن ΔH به‌صورت کمی از داده‌های منحنی به دست آمد. دامنه دمای ژلاتینه شدن ΔT نیز از تفاوت دمای آغاز و پایان ژلاتینه شدن محاسبه شد (۳۴).

آزمون رزونانس مغناطیسی هسته‌ای[4] **(NMR):** اندازه‌گیری میزان تحرک آب توسط روش چنگ و همکاران (۲۰۱۴) با کمی اصلاحات انجام شد (۵). تحرک آب نمونه خمیر شاهد منجمد و خمیر منجمد تیمارشده با استفاده از رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (Bruker، چین) با قدرت میدان مغناطیسی T 5/0 و فرکانس رزونانس مربوطه تعیین شد. برای اندازه‌گیری از فرکانس پروتون‌های ۳۱۱/۲۳ مگاهرتز استفاده شد. حدود ۲ گرم ورق خمیر در پروب NMR قرار گرفت.

1. Rapid Visco Analyzer
2. Thermocline for windows
3. Differential Scanning Calorimetry
4. Nuclear Magnetic Resonance

پروتکل و توالی CPMG[1] برای اندازه‌گیری زمان ریلکسیشن اسپین - اسپین (T_2) استفاده شد .پارامترهای پالسی مورد استفاده به صورت P90=21us، P180=35us، TD=67042، SW=200KHz، TR=1000ms، RG1=20، RG2=3، NS=16، NECH=1000ms بود. زمان اکو برابر ۰/۳۳۵ میلی‌ثانیه و زمان چرخه مجدد برابر ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه بود. داده‌های NMR با استفاده از روش توصیف شده در مطالعات چنگ و همکاران (۲۰۱۴) تجزیه و تحلیل شد (۵).

تجزیه و تحلیل آماری: مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد و به کمک نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

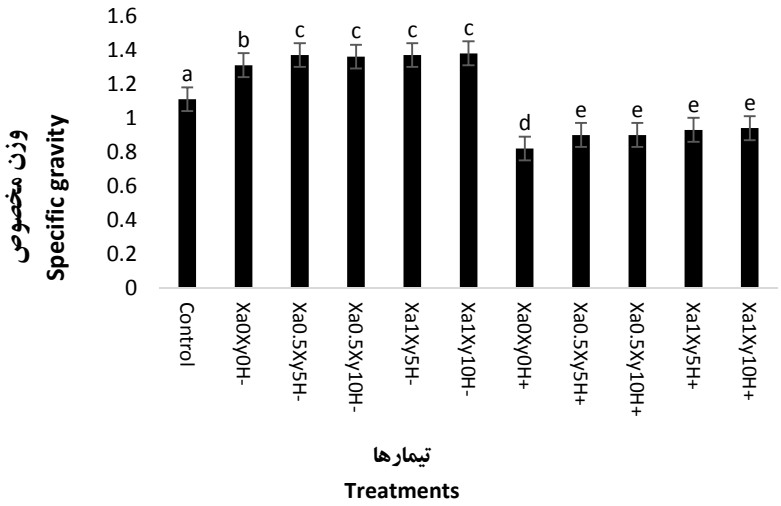
ترکیب شیمیایی آرد برنج قهوه‌ای :نتایج ترکیب شیمیایی آرد برنج قهوه‌ای نشان داد که میزان رطوبت آرد ۱۱/۴ درصد، ۰/۶ درصد خاکستر، اسیدیته ۱/۲، pH معادل ۸، ۴/۸ درصد پروتئین و ۰/۱۳ درصد چربی بر مبنای وزن تر بود. همچنین شاخص‌های رنگی آرد برنج قهوه‌ای معادل L= ۸/۸۶، a= ۰/۲، b=۳/۷ محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده نزدیک به نتایج گزارش‌شده توسط لو و همکاران (۲۰۲۱) می‌باشد که از آرد برنج قهوه‌ای در تولید نان بدون گلوتن استفاده کردند. اختلاف در ویژگی‌های آرد در مطالعات مختلف به تفاوت‌های ژنتیکی و شرایط محیطی رشد ارقام مختلف برنج مربوط می‌شود (۲۴).

وزن مخصوص خمیر: وزن مخصوص خمیر کیک فاکتور مناسبی جهت تعیین مقدار حباب هوای واردشده به خمیر و همچنین میزان نگهداری حباب‌ها در طول مخلوط کردن است. وزن مخصوص پایین در خمیرهای کیک مطلوب است زیرا با حفظ حباب‌های هوای کوچک اولیه واردشده در خمیر در حین مخلوط کردن ارتباط دارد (۸). نتایج اندازه‌گیری وزن مخصوص خمیر کیک در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد بیشترین وزن مخصوص خمیر کیک متعلق به نمونه‌های تهیه شده بدون اعمال HMT و کمترین آن مربوط به نمونه بدون افزودنی و با اعمال تیمار HMT بود. ازآنجاکه دانسیته با تغییرات دما و فشار ناشی از فعل و انفعالات بین‌مولکولی تغییر می‌کند، وزن مخصوص نیز با کاهش دما و انجماد افزایش می‌یابد؛ بنابراین نمونه کنترل (خمیر تازه) به‌طور معنی‌داری وزن مخصوص کمتری نشان داد. با توجه به رابطه معکوس میان وزن مخصوص خمیر کیک و قابلیت ورود حباب‌های هوا به خمیر و میزان نگهداری حباب‌های هوا در بافت خمیر کیک می‌توان نتیجه گرفت تیمار HMT باعث کاهش وزن مخصوص خمیر و افزایش قابلیت نگهداری هوا در خمیر گردید. یویسال و همکاران (۲۰۱۹) اعلام کردند که فرآوری حرارتی کنترل شده آردها باعث افزایش انبساط خمیر و بهبود بافت آن می‌شود (۴۰).

توزیع اندازه ذرات نشاسته: مقدار پیک منحنی توزیع نشاسته شاهد بالاتر از نشاسته تیمار شده بود و توزیع اندازه ذرات نشاسته شاهد نسبتاً متمرکز بود و روند آشکار" تغییر جهت به سمت چپ" را در منحنی توزیع اندازه ذرات نشان داد (شکل ۲). توزیع اندازه ذرات نشاسته می‌تواند بر خصوصیات پخت خمیر منجمد، به‌ویژه میزان گرانول‌های A تأثیر بگذارد (۱۱). قطر گرانول‌های نشاسته که حجم ذرات کوچکتر از آن ۵۰ درصد حجم کل ذرات موجود سیستم را تشکیل می‌دهد (D_{50}) در مورد نمونه شاهد ۸۸۹/۲۳ میکرومتر و در نمونه تیمارشده ۳۴۴/۲۱ میکرومتر محاسبه شد. بنابراین، انجماد و تیمار حرارتی-رطوبتی

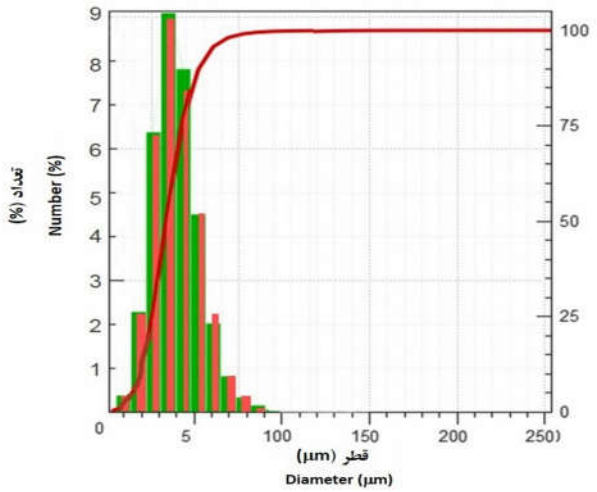
1. Carr-Purcell-Meiboom-Gill

منجر به کاهش معنی دار ($P<0/05$) در اندازه ذرات متوسط دانه‌های نشاسته در خمیر، به‌ویژه نسبت کم گرانول‌های بزرگ نشاسته در نشاسته کل شد. این موضوع ممکن است به‌دلیل تشکیل تعداد زیادی کریستال یخ در طی فرآیند انجماد و درنتیجه تخریب ساختار گرانول نشاسته باشد (۳).



شکل ۱- وزن مخصوص خمیرکیک (بدون بعد) منجمد با افزودنی‌های مختلف

Figure 1 - Specific gravity of frozen batters (without dimension) with different additives



شکل ۲- نمودار توزیع اندازه ذرات نشاسته‌های تیمار شده (قرمز) و شاهد (سبز)

Figure 2- Particle size distribution diagram of treated starches (red) and control (green)

ویژگی‌های خمیری شدن: جدول ۲ مقادیر پارامترهای قابل استخراج منحنی RVA را نشان می‌دهد. به‌طورکلی پدیده خمیری شدن خمیر کیک از خمیری شدن آرد پیچیده‌تر است زیرا در سیستم خمیر کیک علاوه بر آرد و نشاسته ترکیبات مختلف ازجمله روغن، شکر، تخم‌مرغ و ... وجود دارند که بر قابلیت جذب آب و سایر پارامترها از جمله ویسکوزیته تأثیر می‌گذارند و به همین دلیل، ویسکوزیته‌های اندازه‌گیری شده در خمیرهای کیک، از ویسکوزیته‌های خمیر نان کمتر است (۲۵، ۳۹). انجماد خمیرها شکل

کلی پروفایل خمیری شدن را تغییر نمی‌دهد اما افزایش معنی‌داری در ویسکوزیته بیشینه در مقایسه با خمیر منجمد نشده در مطالعات پیشین نشان داده است (۳۴). کاهش معنی‌داری در ویسکوزیته افت و ویسکوزیته برگشت نمونه‌ها تحت تأثیر HMT وجود داشت (جدول ۲). کاهش ویسکوزیته افت در آردهای تیمار HMT به معنی پایداری بیشتر در برابر حرارت و برش می‌باشد. بر اساس نتایج فتحی و همکاران (۲۰۱۶) تیمار HMT می‌تواند به تقویت اتصالات داخل گرانول نشاسته، برهمکنش نشاسته-پروتئین، جهت‌گیری مجدد گرانول‌ها و افزایش بخش بلوری منتج شود (۱۰). بر این اساس چنین ساختار محکمی از نشاسته به حرارت بیشتری برای از هم پاشیدن و خمیری شدن نیاز دارد. در طول تیمار HMT در اثر بازآرایی زنجیره‌های مولکولی، خوشه‌های آمیلوپکتین تشکیل مارپیچ مضاعف منظم می‌دهد. این ساختار محکم می‌تواند تورم نشاسته را محدود کند. نتایج نشان می‌دهد که ویسکوزیته بیشینه، نگهداری و نهایی نمونه‌های حاوی زانتان به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (P<۰/۰۵). میزان بالاتر ویسکوزیته‌ی بیشینه نمونه‌های حاوی زانتان، می‌تواند به درجه ژلاتیناسیون پایین‌تر نمونه حاوی صمغ مرتبط باشد. مقادیر بالای ویسکوزیته بیشینه به این معنی است که نشاسته کمتری ژلاتینه شده است (۴۱). با افزایش میزان زانتان، ویسکوزیته بیشینه، نگهداری و نهایی افزایش می‌یابد که بدین معنی است که به‌علت ظرفیت جذب آب صمغ‌ها درجه ژلاتیناسیون کاهش می‌یابد. صمغ‌ها ژلاتیناسیون را از طریق محدود کردن دسترسی آب، کاهش فعالیت آبی و یا به تأخیر انداختن انتقال آب به درون گرانول نشاسته موردنیاز برای ژلاتیناسیون، محدود می‌کنند (۴۱). ویسکوزیته نگهداری و بیشینه با افزودن زایلیتول افزایش یافت؛ درحالی‌که ویسکوزیته افت به‌طور معنی‌داری با کاهش همراه بود. افزودن قندهای الکی، ارتباط بین زنجیره نشاسته، پلی‌ال و آب را تقویت می‌کند و تحرک آب را در دیسپرسیون کاهش می‌دهد. بنابراین ویسکوزیته خمیر نشاسته را افزایش می‌دهد. زایلیتول گروه‌های هیدروکسیل بیشتری دارد که به‌آسانی در فاز مداوم حل می‌شوند. افزودن زایلیتول ارتباط بین زنجیره نشاسته، پلی‌ال و آب را تقویت می‌کند و تحرک دیسپرسیون را کاهش می‌دهد؛ بنابراین ویسکوزیته نگهداری و نهایی افزایش می‌یابد (۳۸).

جدول ۲ - ویژگی‌های خمیری شدن خمیرکیک منجمد تیمار HMT حاوی صمغ زانتان و زایلیتول

Table 2 - Pasting properties of frozen HMT batter containing xanthan gum and xylitol

تیمار Treatment	ویسکوزیته (سانتی پواز) Viscosity (cp)				
	بیشینه Peak	نگهداری Trough	افت Breakdown	برگشت Setback	نهایی Final
H^+	1602±0.1[a]	1453±0.3[a]	1402±0.4[a]	798±0.4[a]	2251±0.6[a]
H^-	2100±0.8[b]	1500±0.2[b]	1400±1.7[a]	1403±0.8[b]	2903±0.4[a]
H^+-Xa_1Xy_5	2701±0.9[c]	1453±0.4[a]	1600±1.4[b]	2147±0.7[c]	3600±0.7[b]
H^+-$Xa_{0.5}Xy_{10}$	2200±0.7[b]	1403±0.3[c]	1307±1.0[c]	2468±0.8[c]	3921±0.7[b]

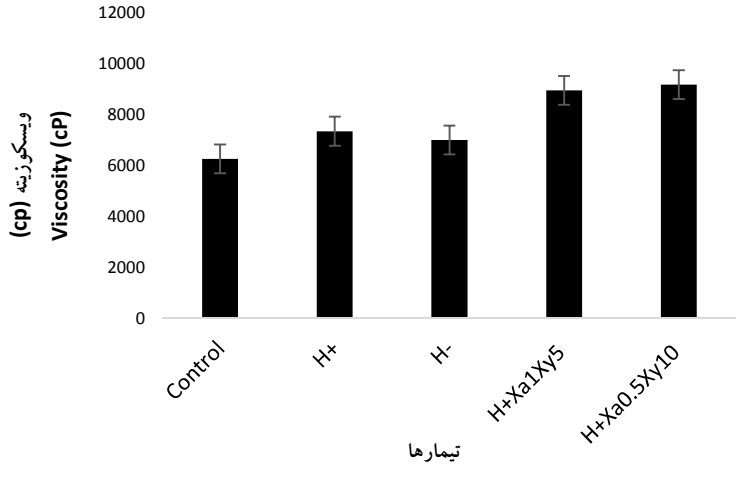
اعداد میانگین دو تکرار و به‌صورت میانگین±انحراف معیار گزارش‌شده است.

The average numbers are two replicates and are reported as mean ± standard deviation

-حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون است (P<0.05)

Different lowercase letters indicate a significant difference in each column (P <0.05).

ویسکوزیته خمیر تیمار شده: ویسکوزیته خمیر یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی مؤثر بر کیفیت محصول است و حباب‌هایی که در مرحله اول طی مخلوط کردن در خمیر به دام افتاده‌اند را حفظ می‌کند (۳۸). تعیین ویسکوزیته خمیر کیک به‌علت تأثیر بر دانسیته، وزن مخصوص خمیر و توزیع حباب‌ها اهمیت دارد. ویسکوزیته کم خمیر موجب کاهش حجم کیک می‌شود زیرا خمیر نمی‌تواند حباب‌های هوای به دام افتاده را داخل خود نگهدارد و زمانی که خمیر در آون قرار می‌گیرد این حباب‌ها به سمت بالا و سطح خمیر حرکت کرده و از کیک خارج می شوند. با این وجود یک خمیر بسیار ویسکوز نیز به‌دلیل انبساط محدود خمیر نمی‌تواند کیک با حجم بالا تولید کند؛ بنابراین برای تولید کیک با حجم زیاد ویسکوزیته خمیر بهینه و مناسب لازم می‌باشد. تیمارهای حاوی زانتان به‌طور معنی‌داری ویسکوزیته بالاتری دارند (شکل ۳). براساس مطالعات پیشین هیدروکلوییدهایی مثل صمغ عربی، زانتان و هیدروکسی پروپیل متیل سلولز ویسکوزیته خمیرکیک را افزایش می‌دهند (۱۵، ۲۹). همچنین با افزایش غلظت زانتان، ویسکوزیته به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است که می‌تواند ناشی از مهار افزایش آنتالپی ذوب یخ باشد (جدول ۲). تیمار HMT با تقویت اتصالات داخل گرانول نشاسته، برهمکنش نشاسته-پروتئین، جهت‌گیری مجدد گرانول‌ها و افزایش بخش بلوری می‌تواند مرتبط باشد (۲۲). بر این اساس یک چنین ساختار محکمی منجر به ویسکوزیته بالاتر خمیر نیز می‌شود. افزودن قندهای الکی، ارتباط بین زنجیره نشاسته، پلی‌ال و آب را تقویت می‌کند و تحرک آب را در دیسپرسیون کاهش می‌دهد بنابراین ویسکوزیته خمیر نشاسته را افزایش می‌دهد (۳۱).

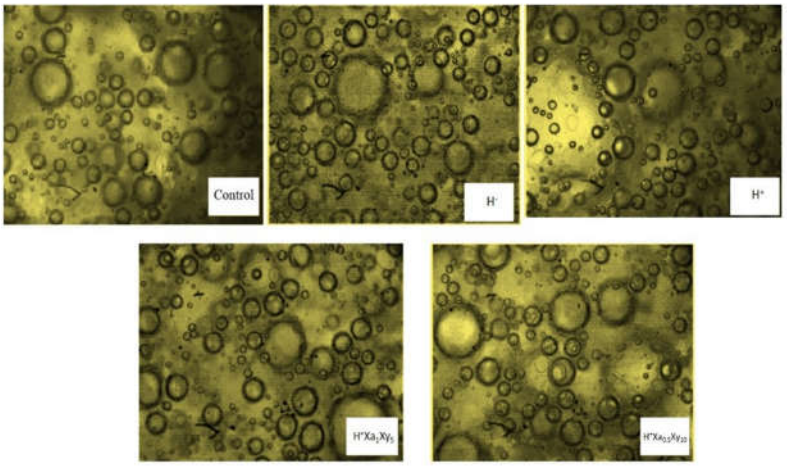


شکل ۳- اثر تیمار حرارتی-رطوبتی و افزودن زانتان و زایلیتول بر ویسکوزیته خمیر منجمد کیک

Figure 3- Effect of heat-moisture treatment and addition of xanthan and xylitol on the viscosity of frozen cake batter

ریزنگاشت میکروسکوپ الکترونی روبشی خمیر: تصاویر میکروسکوپی حاصل از مشاهده خمیر کیک در شکل ۴ آمده است. اندازه متوسط حباب برای داشتن بافت، حجم و شکل مناسب برای کیک ضروری است (۳۶). پس از انجماد و نگهداری به مدت یک هفته، تعداد و یکنواختی حباب کاهش یافت؛ در حالی که اندازه حباب‌ها نسبت به خمیر تازه شاهد افزایش یافت. دانسیته خمیر طی انجماد افزایش می‌یابد زیرا

حجم کمتری گاز احتباس شده در خمیرهای منجمد وجود دارد (۱۶). نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این است که تیمار انجماد نه‌تنها بر خروج هوا بلکه بر ترکیب حباب‌ها نیز مؤثر بوده است و درنتیجه حجم گاز پس از تیمار انجماد کاهش‌یافته است. این یافته‌ها، نتایج وزن مخصوص خمیر منجمد را تأیید می‌کند. همان‌طور که ذکر شد، تیمار حرارتی – رطوبتی منجر به کاهش وزن مخصوص خمیر شد. بنابراین تعداد حباب‌های هوا در خمیر با تیمار HMT افزایش یافت. این افزایش تعداد و اندازه حباب‌ها در مطالعه مارستون و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی کیک تولیدشده حاوی آرد سورگوم و اعمال تیمار HMT نیز گزارش شد (۲۶). تیمارهای حاوی زانتان و زایلیتول اندازه بزرگ‌تر و یکنواختی کمتری نسبت به سایر تیمارها داشتند؛ درحالی‌که از لحاظ تعداد حباب‌ها اختلافی مشاهده نشد (شکل ۴). این نتایج نشان داد که هیدروکلوئیدها و پلی‌الها از افزایش اندازه و عدم یکنواختی حباب‌ها در طی نگهداری منجمد، جلوگیری می‌کنند. این موضوع ممکن است مربوط به ویسکوزیته بالایی باشد که پایداری بهتری را ایجاد می‌کند و به حفظ سلول‌های گاز در خمیر کمک می‌نماید (۲۱).



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی خمیر منجمد حاوی مقادیر مختلف زانتان و زایلیتول با بزرگنمایی ۱۰

Figure 4 - Microscopic images of frozen batter containing different amounts of xanthan and xylitol with magnification 10

ویژگی‌های حرارتی خمیر: نتایج گرماسنجی افتراقی(جدول ۳) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین T_o،T_c ، T_p و ΔH خمیرهای تیمارهای مختلف وجود دارد ($P<۰/۰۵$). فرآیند حرارتی-رطوبتی موجب افزایش دمای شروع (T_o)، اوج (T_p) و نهایی (T_c) ژلاتینه شدن نمونه تیمار شده نسبت به نمونه تیمار نشده گردید. محدوده دمایی ژلاتینه شدن (T_c-T_o) در اثر این تیمار افزایش یافت؛ درحالی‌که انرژی لازم برای ژلاتینه شدن (ΔH) با انجام فرآیند حرارتی-رطوبتی کاهش یافت. افزایش دمای ژلاتینه شدن در نشاسته HMT به‌دلیل کاهش تحرک پذیری زنجیره‌های بی‌شکل در گرانول نشاسته در اثر ایجاد پیوندهای داخل مولکول و همچنین تغییرات ساختمانی در گرانول‌های نشاسته همراه با واکنش‌های داخلی آمیلوز-آمیلوز و آمیلوز-لیپید است (۳۸). در فرآیند HMT زمانی که قسمت‌های بی‌شکل متورم می‌شوند، می‌توانند بر روی قسمت‌های کریستالی و زنجیره‌های پلیمر فشار وارد کرده و این فشار به زنجیره‌های پلیمری سطح کریستالی نشاسته منتقل شود. از طرفی با عملیات HMT برهمکنش‌های آمیلوز-آمیلوز و آمیلوز-

لیپید منجر به کاهش حرکت قسمت‌های آمورف شده و درنتیجه نشاسته‌های HMT در درجه حرارت‌های بالاتر متورم شده و باعث افزایش T_o ، T_c و T_p می‌شوند (۲۸). نتایج نشان داد که این تیمار احتمالاً منجر به باز شدن مارپیچ‌های دوگانه در نشاسته می‌شود. علاوه بر این، استفاده از HMT منجر به افزایش دمای شروع، دمای پیک و دمای نهایی ژلاتینه در منحنی DSC نشاسته نخود و عدس با افزایش دما شد.یافته‌های فوق با نتایج حاصل از دمای خمیری شدن بر اساس آزمون RVA (جدول ۳) را تأیید می‌کند. افزودن صمغ زانتان باعث افزایش ویسکوزیته و تشکیل شبکه شبه گلوتن می‌شود. صمغ‌ها ژلاتیناسیون را از طریق محدود کردن دسترسی آب، کاهش فعالیت آبی و یا به تأخیر انداختن انتقال آب به درون گرانول نشاسته کاهش می‌دهند. همان‌طورکه در نتایج ویسکوزیته بیان شد، افزودن صمغ زانتان منجر به افزایش ویسکوزیته خمیر و افزایش دمای شروع ژلاتیناسیون شد. تغییرات آنتالپی نمونه‌های حاوی زانتان به‌طور معنی‌داری از سایر نمونه‌ها کمتر بود ($P<۰/۰۵$). این نتیجه به کاهش دسترسی به آب مربوط می‌باشد که منجر به ژلاتیناسیون جزئی مناطق کریستالی در گرانول‌های نشاسته می‌شود. هیدراته شدن زایلیتول با سهولت بیشتری توسط آب صورت گرفت و به‌عنوان ماده ضدپلاستیک کننده منجر به تأخیر در ژلاتینه شدن نشاسته گندم و افزایش دمای ژلاتینه شدن شد. واکنش بین زایلیتول و زنجیره نشاسته، گرانول‌های نشاسته را در حالت آمورف یا کریستالی پایدار می‌کند که برای شکستن در طول ژلاتینه شدن به انرژی بیشتری احتیاج دارند. پیشتر گزارش شده بود که وجود شکر با ایجاد تداخل در داخل گرانول‌های نشاسته دمای ژلاتینه شدن نشاسته را افزایش می‌دهد (۲۷).

جدول ۳ - ویژگی‌های حرارتی خمیر منجمد حاوی زایلیتول و زانتان

Table 3- Thermal properties of frozen batter containing xylitol and xanthan

ΔH J/g	ΔT °C	Tc °C	Tp °C	To °C	تیمار Treatment
109.7±0.7[a]	25.3±0.3[a]	90.5±0.3[a]	85.2±0.3[a]	65.2±0.2[a]	H^+
205.3±0.2[b]	21.8±0.1[a]	79.3±0.2[b]	75.8±0.1[b]	57.5±0.4[b]	H^-
95.8±0.2[c]	28.1±0.2[b]	90.1±0.4[a]	86.4±0.4[a]	62.0±0.1[a]	$H^+Xa_1Xy_5$
93.6±0.4[c]	22.2±0.3[c]	89.3±0.3[a]	86.4±0.1[a]	67.2±0.3[c]	$H^+Xa_{0.5}Xy_{10}$

حروف کوچک متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در هر ستون است ($P<۰/۰۵$).

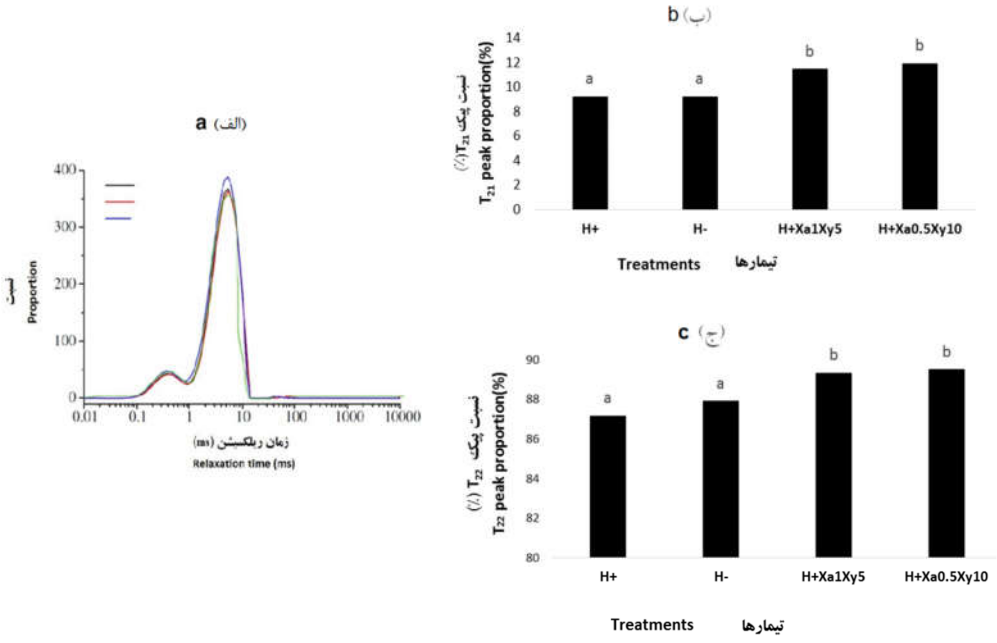
Different lowercase letters indicate a significant difference in each column ($P<0.05$).

قابلیت تحرک آب خمیر: از آنجا که خمیر کیک نیز مانند بسیاری از سیستم‌های غذایی، سیستم هتروژن دارند، منحنی‌های ریلکسیشن واحدی نشان نمی‌دهند. نتایج برازش داده‌های ریلکسیشن خمیر منجمد توسط آنالیز زمان مداوم در شکل ۵-الف دو پیک را نشان می‌دهد. T_{21} :۰ تا ۱ میلی‌ثانیه و T_{22}: ۱ تا ۱۰۰ میلی‌ثانیه به ترتیب نشان‌دهنده آب پیوسته و آب آزاد است. T_2 منحنی ریلکسیشن اسپین-اسپین و نشان‌دهنده فعالیت آبی در سیستم غذایی است (۴). زمان ریلکسیشن بیشتر T_2 نشانگر درجه بالاتر آزادی آب است. محور y در نمودار T_2 دامنه سیگنال پروتون‌ها را نشان می‌دهد.

در این آزمایش، هیچ تغییر معنی‌داری در زمان ریلکسیشن وجود ندارد. مساحت پیک T_2 نشان دهنده میزان نسبی پروتون‌های هیدروژن و جذب آب توسط اجزای آب‌دوست است. درصد هر پیک در کل مساحت‌ها در شکل ۵-الف وب نشان داده شده است. طبق مطالعات پیشین، T_{21} می‌تواند مقدار آب تک

لایه‌ای باشد که از طریق پیوندهای هیدروژنی به پروتئین، چربی و کربوهیدرات متصل می‌شود (۱۹). T_{22} ممکن است نشان‌دهنده آب چندلایه محبوس باشد و این عمده‌ترین شکل موجود در آب پیوسته بود. T_{23} ممکن است آب آزاد خمیر منجمد حاصل از ذوب شدن یخ در حین آزمایش را بازسازی کند. درصد مساحت پیک T_{23} کمتر از ۰/۰۵ درصد بود و تغییر آن در اینجا بحث نشده است.

تفاوت معنی‌داری در T_{22} و مربوط به چهار نمونه مشاهده نشد (شکل ۵-الف)؛ درحالی‌که نمونه‌های حاوی زانتان و زایلیتول افزایش معنی‌داری T_{21} داشتند. همچنین در نمونه‌های حاوی زانتان و زایلیتول در حالت T_{22} از ۸۷/۱۵ به ۸۹/۳۳ درصد افزایش یافت. کاهش آب در حالت T_{21} منجر به افزایش آب در حالت T_2 می‌شود که نشان‌دهنده تغییر مولکول‌های آب از بخش با تحرک کمتر به بخش متحرک است. بااین‌وجود، زانتان و زایلیتول دارای خاصیت آب‌دوستی قوی هستند و حاوی بسیاری از گروه‌های آب‌دوست مانند گروه‌های هیدروکسیل هستند که از طریق پیوندهای هیدروژنی با مولکول‌های آب پیوند می‌خورند. توانایی حفظ آب زایلیتول و زانتان باعث می‌شود آب از T_{22}به T_{21} تغییر کند. تغییر آب از حالت کم‌تحرک به حالت متحرک ممکن است دلیل افزایش کیفیت خمیر منجمد تیمار شده باشد. نتایج مشابهی در نودل منجمد در حین نگهداری به‌صورت منجمد به‌دست‌آمده است (۹). تفاوت معنی‌داری در اعمال تیمار حرارتی-رطوبتی و میزان تحرک آب نمونه‌ها مشخص نشد.



شکل ۵- منحنی‌های ریلکسیشن اسپین-اسپین (T2) و توزیع زمان ریلکسیشن (الف) منحنیNMR T2 ؛ **(ب) نسبت سطح پیک** T21 ؛ **(ج) نسبت سطح پیک** T22

a) T2 NMR curve; (b))Figure 5- Spin-spin relaxation curves (T2) and distribution of batter treatments, peak ratio T21; (c) Peak level ratio T22

نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از خمیر منجمد در صنایع پخت به‌واسطه مزایای کاربردی رو به افزایش است. این محصول به‌علت عدم تخمیر عملکرد بهتری از خمیر منجمد نان دارد. بااین‌حال استفاده از آرد بدون گلوتن منجر به مشکلاتی در محصولات نانوایی از جمله

کیک می‌شود که در این پژوهش کاربرد تیمار حرارتی-رطوبتی به همراه افزودن زانتان و زایلیتول در خمیر منجمد کیک بر ویژگی‌های خمیر بررسی شد. نتایج نشان داد که با استفاده از تیمارهای اعمال‌شده خمیرهای منجمد با ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی مناسب قابل تولید است. بررسی بیشتر در مورد زمان نگهداری به‌صورت انجماد و اندازه‌گیری سایر شاخص‌ها می‌تواند به بهبود تولید خمیرهای منجمد و کاربرد بیشتر آن‌ها بیانجامد.

Refrences

1. Ashwini, A., Jyotsna, R., Indrani, D. 2009. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural and quality characteristics of eggless cake. Food Hydrocolloids. 23:3.700-707.
2. Asmeda, R., Noorlaila, A., Norziah, M. 2016. Relationships of damaged starch granules and particle size distribution with pasting and thermal profiles of milled mr263 rice flour. Food chemistry. 191:1.45-51.
3. Ban, C., Yoon, S., Han, J., Kim, SO., Han, JS., Lim, S., Choi, YJ. 2016. Effects of freezing rate and terminal freezing temperature on frozen croissant dough quality. LWT. 73.219-225.
4. Chen, P., Long, Z., Ruan, R., Labuza, T. 1997. Nuclear magnetic resonance studies of water mobility in bread during storage. LWT-Food Science and Technology. 30:2.178-183.
5. Cheng, X-f., Zhang, M., Adhikari B., Islam, MN., 2014. Effect of power ultrasound and pulsed vacuum treatments on the dehydration kinetics, distribution, and status of water in osmotically dehydrated strawberry: A combined nmr and dsc study. Food and bioprocess technology. 7:10.2782-2792.
6. Chesterton, A., Wilson, D., Sadd P., Moggridge G. 2015. A novel laboratory scale method for studying heat treatment of cake flour. Journal of Food Engineering. 144.36-44.
7. Delcour, J., Hoseney, RC. 2010. Principles of cereal science and technology authors provide insight into the current state of cereal processing. Cereal Foods World. 55:1.21-22.
8. Dhen, N., Román, L., Rejeb, IB., Martínez, MM.,Garogouri M., Gómez M. 2016. Particle size distribution of soy flour affecting the quality of enriched gluten-free cakes. LWT-Food Science and Technology. 66.179-185.
9. Ding, X.,Zhang, H., Liu, W., Wang, L., Qian, H.,Qi, X. 2014. Extraction of carrot (*daucus carota*) antifreeze proteins and evaluation of their effects on frozen white salted noodles. Food and bioprocess technology. 7:3.842-852.
10. Fathi, B., Aalami, M., Kashaninejad, M., Sadeghi Mahoonak, A., 2016. Utilization of heat-moisture treated proso millet flour in production of gluten-free pound cake. J. of food quality. 39:6.611-619.
11. Feng, W., Ma, S., Wang, X., 2020. Quality deterioration and improvement of wheat gluten protein in frozen dough. Grain & Oil Science and Technology. 3:1.29-37.
12. Gharaie, Z., Azizi, MH., Barzegar, M., Aghagholizade, R., 2015. Effects of hydrocolloids on the rheological characteristics of dough and the quality of bread made from frozen dough. J. of Texture Studies. 46:5.365-373.
13. Gularte, MA., de la Hera, E., Gómez, M., Rosell, CM. 2012. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. LWT-Food science and technology. 48:2.209-214.
14. Hui, YH., Corke, H., De Leyn, I., Nip, W-K., Cross, NA. 2008. Bakery products: Science and technology. John Wiley & Sons.723p.
15. Jafari, M., Koocheki, A., Milani, E. 2018. Functional effects of xanthan gum on quality attributes and microstructure of extruded sorghum-wheat composite dough and bread. LWT. 89.551-558.
16. Jia, C., Huang, W., Ji, L., Zhang, L., Li, N., Li, Y. 2014. Improvement of hydrocolloid characteristics added to angel food cake by modifying the

thermal and physical properties of frozen batter. Food Hydrocolloids. 41.227-232.
17. Kohajdová, Z., Karovičová, J. 2009. Application of hydrocolloids as baking improvers. Chemical papers. 63:1.26-38.
18. Kohajdová, Z., Karovičová, J., Schmidt, Š. 2009. Significance of emulsifiers and hydrocolloids in bakery industry. Acta Chimica Slovaca. 2:1. 46-61.
19. Kuo, M-I., Gunasekaran, S., Johnson, M., Chen, C. 2001. Nuclear magnetic resonance study of water mobility in pasta filata and non-pasta filata mozzarella. Journal of Dairy Science. 84:9.1950-1958.
20. Lai, H.,Lin, T. 2006. Bakery products: Science and technology. Bakery products: Science and technology.3-65p.
21. Lee, S., Kim, S., Inglett, GE. 2005. Effect of shortening replacement with oatrim on the physical and rheological properties of cakes. Cereal chemistry. 82:2.120-124.
22. Li, Z., Tang, X.,Huang, W., Liu, JG., Tilley, M., Yao, Y. 2011. Rheology, microstructure, and baking characteristics of frozen dough containing rhizopus chinensis lipase and transglutaminase. Cereal chemistry. 88:6.596-601.
23. Lorlowhakarn, K., Naivikul, O. 2006. Modification of rice flour by heat moisture treatment (hmt) to produce rice noodles. Agriculture and Natural Resources. 40:6 .135-143.
24. Luo, S., Yan, X., Fu, Y., Pang, M., Chen, R., Liu, Y., Chen, J., Liu, C. 2021. The quality of gluten-free bread made of brown rice flour prepared by low temperature impact mill. Food Chemistry.129(23).24-29.
25. Majzoobi, M., Mohammadi, M., Farahnaky, A. 2020. Simultaneous reduction of fat and sugar in cake production; effects of changing sucrose, oil, water, inulin, and rebaudioside a on cake batter properties. Journal of Food Processing and Preservation. 44:10.147.155.
26. Marston, K., Khouryieh, H., Aramouni, F. 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. LWT-Food Science and Technology. 65.637-644.
27. Martínez-Cervera, S., Salvador, A., Sanz, T. 2014. Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: Thermal, rheological, texture and acceptability properties. Food Hydrocolloids. 35.1-8.
28. Mathobo, VM., Silungwe, H., Ramashia, SE., Anyasi, TA. 2020. Effects of heat-moisture treatment on the thermal, functional properties and composition of cereal, legume and tuber starches—A review. J. of Food Science and Technology.37.1-15.
29. Morreale, F., Garzón, R., Rosell, CM. 2018. Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A study with hydroxypropylmethylcellulose. Food Hydrocolloids. 77.629-635.
30. Puncha-arnon, S., Uttapap, D. 2013. Rice starch vs. Rice flour: Differences in their properties when modified by heat–moisture treatment. Carbohydrate polymers. 91:1.85-91.
31. Renzetti, S., van den Hoek, IA., van der Sman, RG. 2020. Amino acids, polyols and soluble fibres as sugar replacers in bakery applications: Egg white proteins denaturation controlled by hydrogen bond density of solutions. Food Hydrocolloids. 108:106034.
32. Sahi, SS., Alava, JM. 2003. Functionality of emulsifiers in sponge cake production. Journal of the Science of Food and Agriculture. 83:14.1419-1429.
33. Selomulyo, VO.,Zhou, W. 2007. Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. J. of Cereal Science. 45:1.1-17.
34. Sharadanant, R., Khan, K. 2003. Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: Ii. Bread characteristics. Cereal Chemistry. 80:6.773-780.
35. Silvas Garcia, MI., Ramirez Wong, B., Torres Chavez, PI., Carvajal Millan, E., Bello-Pérez, LA., Barron Hoyos, JM. 2013. Physicochemical changes in frozen dough and the effect on bread quality: A review. Interciencia. 38:5.332-338.
36. Sumnu, SG., Sahin, S. 2008. Food engineering aspects of baking sweet goods. CRC Press.125p.

37. Sun, Q., Dai, L., Nan, C., Xiong, L. 2014a. Effect of heat moisture treatment on physicochemical and morphological properties of wheat starch and xylitol mixture. Food chemistry. 143.54-59.
38. Sun, Q., Han, Z., Wang, L., Xiong, L. 2014b. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. Food chemistry. 145.756-764.
39. Tao, H., Wang, P., Wu, F., Jin, Z., Xu, X. 2016. Particle size distribution of wheat starch granules in relation to baking properties of frozen dough. Carbohydrate polymers. 137.147-153.
40. Uysal, RS., Sumnu, G., Boyaci, IH. 2019. Effects of heat-treated liquid whole egg on cake batter rheology and the quality of baked cake. Journal of Food Process Engineering. 42:2.66-77.
41. Wang, Q., Li, L., Zheng, X. 2020. Recent advances in heat-moisture modified cereal starch: Structure, functionality and its applications in starchy food systems. Food Chemistry.12:2.87-88