



## Evaluation of the Effect of Sodium Stearoyl-2-lactylate Emulsifier, Xylanase Enzyme, and Alcoholic Sugar Sorbitol on the Quality of Wheat Bran Bread

P. Parsa<sup>1</sup>, M. Mazaheri Tehrani <sup>2\*</sup>, M. Mohebbi <sup>3</sup>

Received: 2021.11.06

Revised: 2021.12.13

Accepted: 2021.12.27

Available Online: 2022.05.15

### How to cite this article:

Parsa, P., Mazaheri Tehrani, M., & Mohebbi, M. (2023). Evaluation of the effect of sodium stearoyl-2-lactylate emulsifier, xylanase enzyme, and alcoholic sugar sorbitol on the quality of wheat bran bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 19(4), 427-450. (In Persian with English abstract).  
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.73474.1110>

### Introduction

Bran-enriched bread is a source of dietary fibers and other nutritional compounds; However, wheat bran also contains phytic acid, asparagine, a high ratio of insoluble to soluble fiber, insoluble arabinoxylans, and glutathione that cause nutritional and technological problems in the product. Therefore, to produce bran-enriched bread, it is necessary to use pre-processed wheat bran. Despite the modifications made in wheat bran to improve its nutritional and functional properties, wheat bran-rich cereal products have a dark color, rough texture, and small loaf volume. To improve the quality of bran-enriched bread, common additives in the bakery industry such as enzymes, alcoholic sugars, emulsifiers can be used. Xylanase is one of the important classes of hemicellulase enzymes that delays the aggregation of amylose chains, and consequently, bread staling. Moreover, the xylanase enzyme increases the loaf volume by converting water-insoluble arabinoxylans into soluble ones. SSL emulsifier can interact with gliadin protein and prevent its participation in crosslinking bonds, which softens the bread crumbs. Polyols can reduce water activity and improve the softness of bread. Sorbitol is commonly used in starch-based foods to improve their quality by modifying starch gelatinization and retrogradation. So far, no article has been presented on the simultaneous effect of enzyme, alcoholic sugar, and emulsifier improvers on bread enriched with processed wheat bran. In addition, the amount and composition of improvers used in combination with each other can cause various effects on different properties of bread. This study aims to improve the technological, physicochemical, and finally stalling of optimal bread enriched with 15% of pre-processed wheat bran while benefiting from the nutritional properties of wheat bran.

### Materials and Methods

In this study, the effect of sodium stearoyl-2-lactylate emulsifier (0-0.8%), xylanase enzyme (0-0.05%), and sorbitol sugar alcohol (0-6%) as improving agents on The physicochemical and technological parameters of bread enriched with 15% pre-processed wheat bran were investigated based on the response surface method in the form of a rotatable central composite design. After that, design-expert software determined the optimum percentage of improvers to achieve the minimum amount of firmness and cohesiveness of bread and the maximum amount of specific volume, moisture of bread crumbs, lightness of bread crust, and solidity of bread pore structure. Finally, optimal and control samples were compared using the Differential Scanning Calorimetry and Scanning Electron Microscopic experiments.

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Professors, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.

(\*- Corresponding Author Email: [mmtehrani@um.ac.ir](mailto:mmtehrani@um.ac.ir))

DOI: [10.22067/ifstrj.2021.73474.1110](https://doi.org/10.22067/ifstrj.2021.73474.1110)

## Results and Discussion

The experiments showed the bread's firmness under the influence of SSL emulsifier and sorbitol alcoholic sugar and chewiness, by adding SSL emulsifier and xylanase enzyme decreased significantly. All three improvers caused a significant increase in the specific volume of bread. The pore characteristics of bread crumbs, such as solidity and circularity, were significantly improved by adding an SSL emulsifier, and roundness was considerably enhanced by adding sorbitol alcohol. The brightness of bread crust was also increased significantly by the SSL emulsifier and xylanase enzyme. In addition, the Xylanase enzyme improved the moisture content of bread by substantially increasing the moisture content of bread crumbs, and alcoholic sugar and SSL emulsifier with a significant reduction in crust moisture. Moreover, the chewiness of bread on the first day after baking, specific volume, moisture of bread crust on the third day after baking, and the solidity of bread crumbs were significantly improved due to the interaction of SSL emulsifier and sorbitol alcohol. Also, the interaction of the xylanase enzyme and SSL emulsifier improved the specific volume, moisture of the bread crumbs on the first day after baking, the lightness of the bread crust, the pore area fraction, and the circularity of the bread crumbs. Finally, the optimal formula was obtained, including 0.563% of SSL emulsifier, 0.040% of xylanase enzyme, and 2.356% of alcoholic sugar sorbitol. The results showed a significant decrease in enthalpy and an increase in the initial gelatinization temperature in the optimal sample compared to the control ones. Also, a weaker gluten network, more swelling, and amounts of starch granules in the microstructure of sample bread were observed.

## Conclusion

In conclusion, SSL emulsifier by interaction with amylose and amylopectin in starch granules, sorbitol alcohol via interacting with water molecules surrounding starch chains or by bonding between starch chains in amorous regions, and xylanase enzyme through reducing rate of crystallization can reduce the gelatinization of starch granules, enthalpy, and finally the retrogradation process of amylopectin and stalling rate of bread with their synergic effects. In this research, we formulate the wheat bran-enriched bread that not only benefits from the nutritional features of wheat bran but also preserves the quality characteristics of bread.

**Keywords:** Differential Scanning Calorimetry, improving agents, Response Surface Methodology, Scanning Electron Microscopy, Wheat bran enriched-bread.

## بررسی تأثیر امولسیفایر سدیم استئاروئیل-۲-لاکتیلات، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول بر کیفیت نان حجیم سبوس دار

پریسا پارسا<sup>۱</sup> - مصطفی مظاهری طهرانی<sup>۲\*</sup> - محبت محبی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶

### چکیده

فرآورده‌های نانوائی غنی شده با سبوس گندم، منبعی سرشار از فیبر می‌باشند، اما وجود ترکیبات ضدتغذیه‌ای نظیر اسید فیتیک در سبوس گندم و به‌علاوه ایجاد اثرات تکنولوژیکی نامطلوب در نان در اثر برهم‌کنش سبوس گندم با ترکیبات ساختارساز آن، موجب محدودیت مصرف این فرآورده‌ها می‌گردد. لذا در این پژوهش برای تولید نان غنی‌شده قالبی از سبوس پیش‌فرآوری شده گندم، استفاده گردیده است. سپس اثر متغیرهای امولسیفایر سدیم استئاروئیل-۲-لاکتیلات (۰-۰/۸ درصد)، آنزیم زایلاناز (۰-۰/۵ درصد) و قند الکلی سوربیتول (۰-۶ درصد) به‌عنوان مواد بهبوددهنده بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و تکنولوژیکی نان غنی شده با ۱۵ درصد سبوس فرآوری شده گندم براساس روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر بررسی شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که ویژگی‌های بافتی همچون سفتی مغز نان، پیوستگی و قابلیت جویدن، حجم مخصوص، روشنایی رنگ پوسته، رطوبت مغز و پوسته نان و ویژگی‌های یکپارچگی، مدور بودن و گردی حفرات مغز نان به‌واسطه اثر مستقل و تقابل هم‌افزای مواد بهبوددهنده به‌طور معنی‌داری بهبود یافتند. در نهایت فرمول بهینه شامل: ۵۶۳٪ / درصد امولسیفایر SSL، ۰/۰۴۰ درصد آنزیم زایلاناز و ۲/۳۵۶ درصد قند الکلی سوربیتول بدست آمد. نمونه بهینه و نمونه شاهد (فاقد مواد بهبوددهنده) با استفاده از آزمون گرماسنجی روبشی افتراقی و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقایسه شدند و نتایج حاکی از کاهش قابل توجه آنتالپی و افزایش دمای اولیه ژلاتیناسیون در نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد بود، به‌علاوه در نمونه نان شاهد شبکه گلوتهنی دارای پیوستگی کم‌تری بود و گرانول‌های نشاسته موجود در آن تورم بیشتری نسبت به نمونه بهینه داشتند. لذا باتوجه به نتایج این دو آزمون می‌توان نتیجه گرفت که میزان بیاتی نمونه بهینه تحت اثر هم‌افزای سه ماده بهبوددهنده کمتر از نمونه شاهد است.

**واژه‌های کلیدی:** روش سطح پاسخ، گرماسنجی روبشی افتراقی، مواد بهبوددهنده، میکروسکوپ الکترونی روبشی، نان غنی شده با سبوس گندم

### مقدمه

آسپاراژین، نسبت بالای فیبرهای نامحلول به محلول، آرابینوزایلان‌های نامحلول و گلوکتایون سبب ایجاد مشکلات تغذیه‌ای و تکنولوژیکی در محصول می‌گردد (Hemery et al., 2007; Khalid et al., 2017; Kumar et al., 2010; Noort et al., 2010). بنابراین به‌منظور تولید نان‌های غنی‌شده، استفاده از سبوس پیش‌فرآوری شده گندم ضروری است. اما در صنعت برای تولید نان‌های حجیم سبوس‌دار از سبوس گندم فرآوری نشده یا آرد کامل استفاده می‌شود که مشکلات تغذیه‌ای ایجاد می‌کنند و یا به‌منظور حفظ ویژگی‌های تکنولوژیکی از درصد پایین سبوس فرآوری شده گندم (زیر ۱۰ درصد) استفاده می‌گردد. همچنین به‌رغم اصلاحاتی که در سبوس گندم جهت بهبود خصوصیات

نان قالبی از انواع نان‌های حجیم است که با استفاده از آرد نول یا مخلوطی از آرد نول و ستاره تولید می‌گردد، لذا به علت درجه استخراج پایین آرد موجود در آن، دارای مقدار اندکی از مواد معدنی، ویتامین‌ها و فیبرهای رژیمی است (Feng et al., 2015). از این‌رو تحقیقات گسترده‌ای به‌منظور تولید نان‌های حجیم غنی شده با منابع مختلفی از فیبرهای رژیمی صورت گرفته است (Mudgil et al., 2016). سبوس گندم محصول جانبی آسیابانی دانه گندم و محتوی ۴۴-۵۰ درصد فیبر رژیمی و منبع غنی از دیگر ترکیبات مغذی است؛ لیکن سبوس گندم خام به‌واسطه دارا بودن ترکیبات ضد تغذیه‌ای مانند اسید فیتیک و

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادان، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
(\*- نویسنده مسئول: Email: mmtehrani@um.ac.ir)

به سیستم‌های مدل محتوی گلوتن و ۱۰ درصد فیبر رژیمی محلول اینولین، موجب افزایش خواص ویسکوالاستیک خمیر، بهبود قابلیت آن در نگهداری حباب‌های گاز و بنابراین افزایش حجم و کیفیت نان می‌گردد.

قندهای الکلی به طور معمول در مواد غذایی برپایه نشاسته به منظور بهینه‌سازی فرآیند تولید و بهبود کیفیت آن‌ها از طریق اصلاح کردن ژلاتیناسیون و رتروگراداسیون نشاسته استفاده می‌شوند (Tian et al., 2009). پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad et al., 2014) گزارش کردند که افزودن سوربیتول به نان بربری غنی شده با سویا باعث کاهش سفتی نان‌ها پس از گذشت دو روز از زمان نگهداری شد. همچنین رطوبت مغز نان‌های حاوی سوربیتول پس از مدت زمان نگهداری، به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از نمونه شاهد بود. بیشه و کاتور (Bhise & Kaur, 2017) نیز دریافتند که افزودن ۴ درصد سوربیتول به نان‌های حاوی فیبرهای اسفرزه و جو، باعث ایجاد کمترین میزان سفتی در مغز نان‌ها در مقایسه با نمونه شاهد می‌گردد.

در پژوهش‌های پیشین تأثیر آنزیم زایلاناز به‌تنهایی یا به‌همراه سایر آنزیم‌های متداول در صنعت نانوائی، عمدتاً بر کیفیت خمیر و نان‌های حاصل از آرد کامل گندم بررسی شده است و تحقیقات درخصوص نان‌های غنی‌شده با سبوس محدوده بوده است (Both et al., 2020; Da Silva et al., 2016; Ghoshal et al., 2016; Jaekel et al., 2012; Liu et al., 2017; Schoenlechner et al., 2013; Shah et al., 2006). اثر امولسیفایر SSL نیز بیشتر بر خصوصیات مختلف نان‌های سفید گندم و همچنین در برخی از پژوهش‌ها، تلفیق این امولسیفایر با آنزیم‌هایی همچون آلفا-آمیلاز، هیدروکلوتیدها و انواع دیگری از امولسیفایر در نان‌های حاصل از مخلوطی از آردها و حاوی فیبرهایی مانند اینولین و نشاسته مقاوم مطالعه شده است (Atalay et al., 2013; Bilgiçli et al., 2014; Dudu et al., 2020; Eduardo et al., 2016; Gomes-Ruffi et al., 2012; Gómez et al., 2019; Pourfarzad et al., 2013). اما از قند الکلی سوربیتول نسبت به سایر مواد بهبوددهنده در مطالعات محدودی در رابطه با فرآورده‌های نانوائی استفاده شده است که این مطالعات نیز به‌طور عمده درخصوص نان‌های سفید گندم و بدون گلوتن صورت گرفته است (Ahmad, 2016; Bhise & Kaur, 2014; Borges & Salas-Mellado, 2016; Ding et al., 2019; Pourfarzad et al., 2011; Zhou et al., 2016). اما تاکنون مقاله‌ای در رابطه با اثر همزمان سه نوع بهبوددهنده آنزیمی، قند الکلی و امولسیفایر بر نان غنی‌شده با سبوس فرآوری شده گندم، ارائه نشده است. ضمناً میزان و ترکیب مواد بهبوددهنده‌ای که در تلفیق با یکدیگر استفاده می‌شوند، می‌تواند موجب ایجاد اثرات متفاوتی در خصوصیات مختلف نان گردد. مطالعات پژوهشگران نشان داد، علاوه بر اثرگذاری مثبت آنزیم زایلاناز بر ویژگی‌هایی

تغذیه‌ای و عملکردی آن صورت می‌گیرد؛ فرآورده‌های غلات با مقادیر بیش از ۱۰ درصد سبوس گندم، دارای بافت، طعم و رنگ نامناسی هستند که این خصوصیات به‌صورت تیره شدن رنگ مغز و پوسته نان، کاهش حجم قرص نان، افزایش سفتی بافت و بیاتی نان نمایان می‌گردند (Bakke & Vickers, 2007; Kiumarsi et al., 2019). به-منظور بهبود کیفیت نان‌های غنی شده با سبوس، می‌توان از افزودنی متداول در صنعت نانوائی همچون آنزیم‌ها، قندهای الکلی و امولسیفایرها، استفاده نمود.

در سال‌های اخیر، استفاده از آنزیم‌ها در کاربردهای تجاری بنابر تقاضای مصرف‌کنندگان برای استفاده از ترکیبات طبیعی در فرآورده‌های نانوائی افزایش یافته است. آنزیم زایلاناز جزو دسته مهمی از همی سلولازها است که پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای را به قند زایلوز و الیگوساکاریدها هیدرولیز می‌کنند (Jiang et al., 2019). آنزیم زایلاناز به‌منظور تثبیت ساختار خمیر، افزایش انعطاف‌پذیری آن، بهبود مقاومت گلوتن و کاهش رتروگراداسیون نشاسته در صنعت نانوائی استفاده می‌شود (Altinel & Ünal, 2017b; Yang et al., 2014). پژوهش‌های داسیلوا و همکاران (Da Silva et al., 2016) نشان داد که افزودن آنزیم زایلاناز به نان حاوی آرد کامل گندم، به واسطه تجزیه اجزاء دیواره سلولی، تغییر توزیع آب میان نشاسته، گلوتن و ذرات سبوس در طی مدت زمان نگهداری نان، موجب به تأخیر انداختن رتروگراداسیون نشاسته و در نتیجه روند بیاتی نان می‌گردد. آلتینل و اونال (Altinel & Ünal, 2017a) نیز بیان کردند که در مخلوطی ۴۰:۶۰ از آرد سفید و آرد کامل گندم، افزودن آنزیم زایلاناز، باعث افزایش حجم نان به واسطه تبدیل آرابینوزایلان‌های غیر محلول در آب به نوع محلول می‌گردد که موجب بهبود ظرفیت نگهداری گاز در خمیر می‌شود.

امولسیفایرها ترکیبات فعال سطحی هستند که نقش آن‌ها به‌عنوان افزودنی در صنایع نانوائی، نرم کردن مغز نان و تولید نانی با زمان ماندگاری بالاتر است، که علت آن می‌تواند به‌واسطه توانایی این ترکیبات در ایجاد پیوند با پروتئین‌های گلوتنی و نشاسته باشد (Colakoglu & Özkaya, 2012). امولسیفایر SSL می‌تواند با پروتئین گلیادین، برهمکنش ایجاد کرده و مانع از مشارکت آن در تشکیل پیوندهای عرضی گردد، که این امر موجب نرم‌شدن مغز نان می‌شود (Van Steertegem et al., 2013). پژوهش‌های دودو و همکاران (Dudu et al., 2020) نشانگر این امر بود که افزودن امولسیفایر سدیم استئاروئیل-۲-لاکتیلات<sup>۱</sup> به نان‌های حاصل از آرد مخلوط گندم و کاساوا موجب کاهش رتروگراداسیون آمیلوپکتین در طی مدت زمان نگهداری نان گردید. نتایج مطالعات پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad et al., 2019) نیز نشان داد که افزودن امولسیفایر SSL

همچون حجم مخصوص در نان‌های حاوی آرد کامل گندم در سایر پژوهش‌ها، افزودن این آنزیم به همراه مواد بهبوددهنده دیگر (امولسیفایر داتم و گلوتن) عملکرد آن را تحت الشعاع قرار داده و آنزیم زایلاناز اثر قابل توجهی بر حجم مخصوص نداشته است (Da Silva et al., 2016). اما نتایج مطالعه‌ای دیگر حاکی از این مطلب بود که افزودن آنزیم زایلاناز به تنهایی یا در ترکیب با آنزیم‌های آلفا-آمیلاز و ترانس گلوتامیناز اثر یکسانی بر حجم مخصوص و سفتی بافت نان داشت (Grausgruber et al., 2008).

هدف از این مطالعه ضمن بهره‌مندی از خواص تغذیه‌ای سبوس گندم، بهبود خصوصیات تکنولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی و در نهایت بیاتی نان بهینه غنی شده با ۱۵ درصد سبوس فرآوری شده گندم می‌باشد. لذا به این منظور برای غنی‌سازی نان از سبوس فرآوری شده گندم استفاده شد، سپس اثر مستقل و برهمکنش سه نوع بهبوددهنده‌ی امولسیفایر SSL، قند الکی سوربیتول و آنزیم زایلاناز بر ویژگی‌های بافتی، حجم مخصوص، رطوبت، افت وزن، رنگ و ویژگی‌های حفرات مغز نان مطالعه گردید. همچنین، اینکه آیا تقابل این سه نوع ماده بهبوددهنده اثر مثبتی بر ویژگی‌های ذکر شده دارد یا خیر و ترکیب بهینه آن‌ها می‌تواند از طریق تغییر خواص حرارتی و ریزساختار نان بر بیاتی نان غنی شده با ۱۵ درصد سبوس فرآوری شده گندم اثر هم‌افزایی مثبت داشته باشد یا خیر، مدنظر بوده است.

## مواد و روش‌ها

آرد گندم با درجه استخراج ۷۲ درصد، سبوس گندم فرآوری شده (تخمیر شده مرطوب) با اندازه ذرات کمتر از ۵۰۰ میکرون، امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و مخمر خشک فعال به ترتیب از شرکت‌های آرد طلایی پرند (تهران)، پابلوت صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد (مشهد)، پارس بهبود آسیا (مشهد)، سیگما (آمریکا) و شرکت خمیر مایه رضوی (فریمان) تهیه شدند. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمون‌ها نیز از شرکت‌های مرک (آلمان) و سیگما (آمریکا) تأمین گردیدند. نمک، شکر، روغن، پودر آب پنیر بدون چربی، بهبوددهنده مخصوص نان حجیم و قند الکی سوربیتول نیز از بازار محلی خریداری شدند. رطوبت، خاکستر، پروتئین و چربی نمونه‌های آرد و سبوس به ترتیب مطابق با روش‌های ۱۹-۴۴، ۱۲-۰۸، ۱۲-۴۶ و ۱۰-۳۰ براساس استاندارد (AOAC, 2000) تعیین گردید. رطوبت، چربی، پروتئین و خاکستر برای آرد گندم به ترتیب ۱۲/۳۸ درصد، ۱/۲۳۴ درصد، ۸/۹۸ درصد و ۰/۵۶ درصد بود. اندازه گیری اسید فیتیک در سبوس با استفاده از روش جایگزینی با فلز آهن به وسیله دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا با اندکی تغییرات در طول موج ۶۶۰ نانومتر صورت گرفت

## روش تهیه نان حجیم سبوس دار

در ابتدا مواد پودری، آرد و روغن به مدت ۲ دقیقه در همزن اسپیرال (Huger، مدل HG550TMEM) با دور کند با یکدیگر مخلوط شدند، سپس آب به آرامی تا دقیقه ششم به مخلوط اضافه گردیدند و پس از آن ۴ دقیقه انتهایی مخلوط کردن با دور تند همزن انجام شد. پس از اتمام مرحله مخلوط کردن، خمیرها به قطعاتی با وزن ۳۵۰ گرم تقسیم و توزین شده و سپس گرد گردیدند. در مرحله بعد خمیرها در مدت زمان ۲۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۵ درصد استراحت کردند. سپس رول شده، در داخل قالب آلومینیومی با ابعاد ۹/۵ \* ۱۹/۵ \* ۵/۵ گذاشته شدند و برای انجام مرحله تخمیر نهایی به مدت ۱ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد در گرمخانه (Memmert CO<sub>2</sub> Incubator، مدل INCO<sub>2</sub>/108، ساخت کشور آلمان) قرار داده شدند. در مرحله پایانی خمیرها به مدت ۳۵ دقیقه در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در فر پخت نانویی (Sinmag، مدل SM-705E-E)، پخته شدند. سپس به مدت ۱ ساعت در دمای محیط خنک شده و در بسته‌هایی از جنس پلی‌اتیلن قرار گرفتند (Ghoshal et al., 2013).

## اندازه‌گیری رطوبت پوسته و مغز نان

محتوای رطوبت پوسته و مغز نان‌ها در روز اول و سوم پس از پخت براساس روش AOAC اندازه‌گیری شد (AOAC, 2000).

## اندازه‌گیری حجم مخصوص نان

اندازه‌گیری حجم نان‌ها ۱ روز پس از پخت و سرد شدن نان‌ها با استفاده از روش جابه‌جایی دانه ارزن انجام شد و سپس با تقسیم کردن حجم بر وزن نان‌ها، مقدار حجم مخصوص به دست آمد (AACC, 2000).

## اندازه‌گیری افت وزنی نان

افت وزنی<sup>۱</sup> نان‌ها با وزن کردن چانه‌ها و وزن نان‌های حاصل پس از پخت و سرد کردن از طریق تفریق وزن چانه از وزن نان پس از پخت، تقسیم بر وزن چانه محاسبه شد (Phimolsiripol *et al.*, 2008).

## آزمون آنالیز پروفایل بافت نان

ابتدا از نمونه‌های نان برش‌هایی مکعبی شکل با ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر تهیه شد. سپس نان‌ها به وسیله دستگاه آنالیز پروفایل بافت با استفاده از پروب آلومینیومی به قطر ۴/۵ سانتی‌متر، با بارگذاری ۵ کیلو-گرم به میزان ۴۰ درصد فشرده گردیدند. سرعت انجام آزمون نیز ۱/۷ میلی‌متر بر ثانیه بود. ویژگی‌هایی همچون سفتی<sup>۲</sup>، الاستیسیته<sup>۳</sup>، قابلیت جویدن<sup>۴</sup> و پیوستگی<sup>۵</sup> در روز اول و سوم پس از پخت نان بررسی شد (Purhagen *et al.*, 2011).

آزمون گرماسنجی روبشی افتراقی<sup>۶</sup>

ابتدا تکه‌هایی به وزن ۲۰ میلی‌گرم از مرکز هندسی نان‌ها در روزهای اول و سوم پس از پخت تهیه شد. سپس با استفاده از دستگاه Shimadzu, Japan) DSC-60 و سیستم آنالیز حرارتی TA-60WS، آنالیزی برحسب واحد ژول بر گرم، دمای اولیه و پیک ژلاتیناسیون برحسب درجه سانتیگراد در نمونه‌ها در محدوده دمایی ۲۵ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه محاسبه شد (Shahbazi *et al.*, 2017).

## بررسی ریزساختار نان با استفاده از میکروسکوپ الکترونی

روبشی<sup>۷</sup>

به منظور ارزیابی تأثیر مواد بهبوددهنده بر ریزساختار نان بهینه و شاهد، از SEM استفاده شد. ابتدا نمونه‌های نان به شکل مکعب‌هایی با ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شدند. سپس با استفاده از خشک‌کن انجمادی خشک گردید و در مرحله بعد روی پایه‌های آلومینیومی دستگاه لایه نشانی طلا با استفاده از چسب نصب گردیدند و با لایه‌ای از فلز طلا و پالادیوم پوشش داده شدند. در نهایت از نمونه‌های نان با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰× عکس برداری شد (Sheikholeslami *et al.*, 2021).

## پردازش تصاویر نان

## تصویربرداری از نمونه‌های نان

تصویر برداری از نمونه‌های نان در اتاقکی با دیوارهای مشکی صورت گرفت. از ۴ عدد لامپ در ردیف اول و آخر به منظور تأمین روشنایی استفاده گردید. تصویربرداری با استفاده از دوربین Canon مدل DS126191 ساخت کشور تایوان انجام شد. فاصله دوربین که بر روی پایه ثابت قرار داشت از نمونه ۲۰ سانتی‌متر بود و تصاویر به فرمت JPG ذخیره شدند.

## ارزیابی اندازه و شکل حفرات مغز نان

برای بررسی ویژگی‌های حفرات مغز نان به کمک نرم‌افزار Matlab پس از تبدیل تصویری رنگی ورودی به تصویر خاکستری، یک مقدار آستانه مناسب به منظور باینری کردن تصویر برای آن تعیین شد. سپس تصاویر باینری حاصل را منفی کرده تا نقاط سفید آن به سیاه و بالعکس تبدیل شوند. به این ترتیب حفرات که نقاط تیره تصویر هستند، مقادیر ۱ را به خود اختصاص می‌دهند و به عنوان اشیاء موجود در تصویر شناخته می‌شوند. حال به کمک روش شناسایی اجزاء متصل در تصویر که یکی از تکنیک‌های موجود در حوزه شکل شناسی است، پیکسل‌های مربوط به حفرات تصویر مغز نان را از بقیه پیکسل‌های تصویر جدا کرده و ویژگی‌هایی همچون تعداد حفرات<sup>۸</sup>، کسر سطح حفرات<sup>۹</sup>، مدور بودن<sup>۱۰</sup>، گردی<sup>۱۱</sup> و یکپارچگی<sup>۱۲</sup> را برای آن‌ها استخراج شدند (Gonzalez & Woods 2008).

## ارزیابی رنگ پوسته نان

به منظور ارزیابی رنگ پوسته نان، عکس برداری از نمونه‌های نان با استفاده از دوربین دیجیتال صورت گرفت و فاکتورهای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  به وسیله جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب<sup>۱۳</sup> محاسبه گردید (Sun, 2016).

- 8- Pore number
- 9- Pore area fraction
- 10- Circularity
- 11- Roundness
- 12- Solidity
- 13-MATLAB

- 1- Weight loss
- 2- Hardness
- 3- Springiness
- 4- Chewiness
- 5- Cohesiveness
- 6- Differential Scanning Calorimetry (DSC)
- 7- Scanning Electron Microscopy (SEM)



جدول ۱- متغیرهای مستقل و مقادیر آن ها در نرم افزار دیزاین اکسپرت  
Table 1-Independent variables and their values in Design Expert software

Independent variables	Minimum value	- $\alpha$	Central point	Maximum value	+ $\alpha$
متغیرهای مستقل	کمترین مقدار	منفی آلفا	نقطه مرکزی	بیشترین مقدار	مثبت آلفا
SSL emulsifier (%) امولسیفایر SSL (برحسب درصد)	0	0.16215	0.4	0.8	0.63784
Xylanase enzyme (%) آنزیم زایلاناز (برحسب درصد)	0	0.01	0.025	0.05	0.039865
Alcoholic sugar sorbitol (%) قند الکی سوربیتول (برحسب درصد)	0	1.21619	3	6	4/78381

## تجزیه و تحلیل داده‌ها

نتایج حاصل از جداول ۳، ۴ و ۵ نیز نشان داد که مدل درجه دوم از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0.001$ )، اما آزمون ضعف برازش در مدل‌های درجه دوم پیشنهاد شده، غیرمعنی‌دار بود ( $p > 0.05$ ). ضمناً برای تمامی پاسخ‌ها ضریب تبیین و ضریب تبیین اصلاح شده بیشتر از  $0.83$  و ضریب تغییرات کمتر از  $10$  بود که این مطلب حاکی از کفایت مدل انتخابی برای برازش داده‌ها می‌باشد.

## نتایج و بحث

بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سبوس گندم فرآوری شده

در جدول ۲ نتایج آنالیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سبوس فرآوری شده گندم ارائه شده است.

### تأثیر مواد بهبود دهنده بر ویژگی‌های بافتی نان

اثر امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکی سوربیتول بر ویژگی بافتی شامل سفتی، قابلیت جویدن، الاستیسته و پیوستگی در روز اول و سوم پس از پخت مورد بررسی شد.

پارامتر سفتی از دیدگاه مکانیکی حداکثر نیروی لازم برای تغییر شکل ماده غذایی در سیکل اول فشردن است. نتایج آنالیز جدول ۳ و معادلات ۱ و ۲ نشان می‌دهد که امولسیفایر SSL در حالت مستقل در روزهای اول و سوم پس از پخت و همچنین قند الکی سوربیتول در روز سوم بر پارامتر سفتی مغز نان اثری منفی و بسیار معنی‌دار داشتند ( $p < 0.0001$ ). به‌علاوه مطابق با نتایج ارائه شده در شکل ۱، با افزایش امولسیفایر SSL و کاهش قند الکی سوربیتول در حالت متقابل سفتی نان در روز اول پس از پخت به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ( $p < 0.01$ ). لیکن کاهش متقابل هر دو بهبوددهنده در روز سوم پس از پخت، موجب کاهش این پارامتر گردید ( $p < 0.01$ ). روند تغییرات

در این پژوهش، مدلسازی رابطه میان مواد بهبود دهنده افزوده شده به فرمولاسیون و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و تکنولوژیکی نان و بهینه‌سازی فرمولاسیون نان غنی‌شده با  $15$  درصد سبوس فرآوری شده گندم با استفاده از نرم افزار دیزاین اکسپرت<sup>۱</sup> (نسخه ۱۲) و در قالب طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر<sup>۲</sup>، با سه فاکتور و در  $5$  سطح بررسی شد. همچنین پردازش تصاویر به‌وسیله نرم‌افزار متلب (نسخه b ۲۰۱۶) انجام شد و مقایسه میانگین به‌وسیله روش تی-استیودنت در سطح ( $p < 0.05$ ) صورت گرفت. پاسخ‌های مورد بررسی به‌عنوان متغیر وابسته و سطوح متغیرهای امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکی سوربیتول به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. جدول ۱ سطوح مختلف متغیرهای مستقل ارائه شده توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و جداول ۳، ۴ و ۵ مقادیر معنی‌داری اجزاء معادلات درجه دوم و آنالیز آماری آن‌ها را نشان می‌دهند. انتخاب مدل مناسب و بررسی کفایت آن برای برازش پاسخ‌ها با استفاده از شاخص-های معنی‌داری رگرسیون، ضعف برازش<sup>۳</sup>، ضریب تبیین<sup>۴</sup>، ضریب تبیین اصلاح شده<sup>۵</sup> و ضریب تغییرات<sup>۶</sup> صورت پذیرفت. ضمناً نمونه بهینه با استفاده از روش بهینه‌سازی عددی به‌وسیله نرم‌افزار دیزاین اکسپرت تعیین شد.

### بررسی شاخص‌های مدل انتخابی برای پاسخ‌ها

بررسی‌ها نشان داد که مدل درجه دوم برازش بهتری برای تمامی پاسخ‌ها (حجم مخصوص، افت وزن، رطوبت پوسته و مغز نان، ویژگی‌های بافتی، رنگ پوسته و ویژگی‌های حفرات مغز نان) داشت. معادلات درجه دوم برازش یافته برای هر پاسخ نیز از معادله ۱ تا ۲۲ در متن ارائه شده‌اند که در این معادلات A، B و C به ترتیب نشان دهنده امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکی سوربیتول هستند.

4- R-squared (R2)

5- Adjusted R-squared (Adjusted-R2)

6- Coefficient of Variation (C.V.)

1- Design Expert software

2- Central Composite Rotatable Design (CCRD)

3- Lack of fit

۰/۰۱۰۱۳ درصد آنزیم زایلاناز و ۴/۷۸۳۸ درصد قند الکی سوربیتول مشاهده شد. روند افزایش مقدار سفتی مغز نان در تیمار شماره ۴، در طی مدت ۳ روز از زمان پخت کمتر از سایر تیمارها است. مقدار قند الکی سوربیتول و امولسیفایر SSL در هر دو تیمار ذکر شده مساوی است که این امر نشان‌دهنده تأثیر قابل ملاحظه این دو بهبوددهنده در روز سوم پس از پخت است.

میزان سفتی مغز نان‌ها در روز سوم نسبت به روز اول پس از پخت، افزایشی بود. تیمار شماره ۴ در روز اول پس از پخت کمترین میزان سفتی را دارا بود. کمترین مقدار سفتی مغز نان در روز سوم نیز در تیمار شماره ۲۰ با ۰/۶۳۷۸ درصد امولسیفایر SSL، ۰/۰۳۹۸۵ درصد آنزیم زایلاناز و ۴/۷۸۳۸ درصد قند الکی سوربیتول و تیمار شماره ۴ با ترکیب مواد بهبود دهنده شامل: ۰/۶۳۷۸ درصد امولسیفایر SSL،

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سبوس گندم فرآوری شده (میانگین ± انحراف معیار)

Table 2- Physicochemical properties of processed wheat bran (mean ± standard deviation)

Properties ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری	Processed wheat bran sample نمونه سبوس فرآوری شده
Crude fiber (%) فیبر خام (برحسب درصد)	10.075±0.085
Soluble fiber (%) فیبر محلول (برحسب درصد)	14.35±0.0150
Insoluble fiber (%) فیبر نامحلول (برحسب درصد)	44.516±0.0160
pH (%) pH (برحسب درصد)	5.403±0.005
Protein (%) پروتئین (برحسب درصد)	15.883±0.015
Fat (%) چربی (برحسب درصد)	7.190±0.020
Ash (%) خاکستر (برحسب درصد)	7.033±0.035
Phytic acid (mg g <sup>-1</sup> ) اسید فیتیک (برحسب درصد)	14.41±0.410
Iron (mg 100g <sup>-1</sup> ) آهن (برحسب میلی گرم در ۱۰۰ گرم)	23.840±0.030

$$\text{Hardness 1} = +2.39 - 0.3175 * A - 0.0749 * B - 0.0786 * C - 0.1474 * AB - 0.2346 * AC + 0.0889 * A^2 - 0.2443 * B^2 - 0.0653C^2 \quad (1)$$

$$\text{Hardness 3} = +2.80 - 0.1634 * A + 0.0199 * B - 0.2144 * C - 0.1728 * AC + 0.1419 * BC - 0.0641B^2 \quad (2)$$

نان بربری غنی شده با آرد سویا، نشان داد که روند افزایش سفتی نان‌های حاوی ۱ و ۵ درصد سوربیتول در مقایسه میان روز اول و دوم از زمان نگهداری، کمتر از نمونه شاهد بود. علت آن می‌تواند اثر پلاستیسیزری سوربیتول بر کاهش میزان پیوندهای عرضی در نشاسته رتروگرید شده، باشد.

قابلیت جویدن نان در روز اول و سوم پس از پخت، تحت اثر مستقل امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز کاهش معنی‌داری یافت (p<۰/۰۱). ضمن آنکه اثر قند الکی سوربیتول نیز در روز اول پس از پخت، منفی

مطالعات گومز-راف و همکاران (Gomes-Ruffi *et al.*, 2012) نشان داد که امولسیفایر SSL اثر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش پارامتر سفتی نان در زمان ۰، ۶ و ۱۰ روز پس از پخت دارد. این امر نشانگر اثر نرم‌کنندگی این بهبوددهنده در طی زمان نگهداری طولانی مدت است. در واقع امولسیفایر SSL از طریق تشکیل کمپلکس با مولکول‌های نشاسته و کاهش وزن مولکولی آن‌ها، باعث تأخیر در روند بیات شدن نان می‌گردد. همچنین مطالعات پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad *et al.*, 2011) درخصوص اثر قند الکی سوربیتول بر



۰/۶۳۷۸ درصد امولسیفایر SSL، ۰/۳۹۸۶ درصد آنزیم زایلاناز و ۴/۷۸۳۸ درصد قند الکی سوربیتول کمترین میزان قابلیت جویدن را در روزهای اول و سوم پس از پخت داشتند. دو تیمار یاد شده حاوی مقادیر بالای آنزیم زایلاناز می‌باشند که این مطلب بیانگر اثر قابل ملاحظه این ماده در بهبود پارامتر قابلیت جویدن است. اثر مثبت آنزیم زایلاناز بر خصوصیات بافتی نان از جمله قابلیت جویدن، به واسطه توزیع مجدد آب از طریق پنتوزان‌ها به شبکه گلوئی و محدود کردن تشکیل پیوندهای عرضی میان پروتئین‌های گلوئی می‌باشد (Ghoshal et al., 2013). مطابق با نتایج بدست آمده در این تحقیق، در پژوهشی که بٹ و همکاران (Both et al., 2020) در خصوص اثر آنزیم زایلاناز بر خصوصیات بافتی نان تولید شده با آرد کامل گندم انجام دادند، کاهش قابل توجهی در پارامتر قابلیت جویدن نان مشاهده کردند.

$$\text{Chewiness 1} = +0.0044 - 0.0006 * A - 0.0003 * B - 0.0003 * C - 0.00003AB + 0.0005 * AC - 0.0008 * BC + 0.0004 * A^2 - 0.0003 * B^2 - 0.0002 \quad (3)$$

$$\text{Chewiness 3} = +0.0056 - 0.0002 * A - 0.0003 * B - 0.0003 * C - 0.0001AB + 0.0002 * BC - 0.0006 * B^2 - 0.0006 * C^2 \quad (4)$$

پژوهش سارابه‌ای و همکاران (Sarabhai et al., 2021) نیز نشان داد که افزودن آنزیم زایلاناز باعث کاهش قابل توجه در پارامتر پیوستگی نان تولید شده با آرد ارزن و آکالیفا، به خصوص در غلظت ۰/۱ درصد آنزیم می‌گردد. آن‌ها بیان داشتند که دیپلمیریزاسیون نشاسته و هیدرولیز گلوتن، مسئول ایجاد این تغییرات در نان است. درمقابل پژوهش شاه و همکاران (Shah et al., 2006) در خصوص اثر آنزیم زایلاناز مشاهده گردید که آنزیم زایلاناز باعث بهبود قابل ملاحظه‌ی پارامتر پیوستگی حاوی آرد کامل گندم می‌شود.

$$\text{Cohesiveness 1} = +0.3148 + 0.0013 * A - 0.0048 * B - 0.0108 * C + 0.0085AC - 0.0020BC - 0.0148 * A^2 + 0.0052 B^2 + 0.0034 C^2 \quad (5)$$

$$\text{Cohesiveness 3} = +0.2735 + 0.0052 * A - 0.0101 * B - 0.0067 * C + 0.0341 * AB - 0.0164 * BC + 0.0060 B^2 - 0.025 * C^2 \quad (6)$$

موجب کاهش بسیار معنی‌دار این پارامتر گردید (p<۰/۰۰۰۱). درضمن، بنابر شکل ۱ با افزایش متقابل مقدار آنزیم زایلاناز و قند الکی SSL، الاستیسیته نان در روز سوم پس از پخت افزایش یافت (p<۰/۰۰۱).

و معنی‌دار بود (p<۰/۰۱)، این نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها در جدول ۳ و معادلات ۳ و ۴ است که در ذیل آورده شده‌اند. همچنین تمامی اثرات متقابل و مضاعف متغیر قابلیت جویدن مغز نان در روز اول معنی‌دار بودند (p<۰/۰۱)، اما در روز سوم تنها اثرات متقابل و مضاعف آنزیم زایلاناز و قند الکی سوربیتول معنی‌دار بود (p<۰/۰۵). بنابر نتایج شکل ۱ افزایش متقابل امولسیفایر SSL و قند الکی باعث کاهش مقدار قابلیت جویدن در روز اول پس از پخت شد. همچنین با افزایش میزان SSL و زایلاناز قابلیت جویدن نان در روز سوم پس از پخت در ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. درضمن باوجود افزایش اندک در مقدار پارامتر قابلیت جویدن در روز سوم نسبت به روز اول، تیمار شماره ۷ با ترکیب مواد بهبود دهنده شامل : ۰/۴ درصد امولسیفایر SSL، ۰/۰۵ درصد آنزیم زایلاناز و ۳ درصد قند الکی سوربیتول و تیمار شماره ۴ با

طبق نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها در جدول ۳ و معادلات ۵ و ۶ اثر آنزیم زایلاناز در روزهای اول و سوم بر پارامتر پیوستگی نان، کاهش معنی‌دار است (p<۰/۰۵). ضمن آنکه اثر مستقل قند سوربیتول در روز اول نیز بر این پارامتر منفی و معنی‌دار بود (p<۰/۰۰۱). اما با افزایش متقابل مقدار آنزیم زایلاناز و قند الکی سوربیتول در روز سوم پس از پخت، بر طبق شکل ۱ مقدار پیوستگی نان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (p<۰/۰۱).

پارامتر الاستیسیته نان در روز اول و سوم پس از پخت بنابر معادلات ۷ و ۸ و آنالیز داده‌ها در جدول ۳، در اثر افزودن امولسیفایر SSL و قند الکی سوربیتول در حالت خطی، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (p<۰/۰۱). علاوه بر این اثر خطی آنزیم زایلاناز نیز در روز سوم

جدول ۳- مقادیر معنی‌داری اجزاء معادله درجه دوم و پارامترهای آماری آن‌ها برای ویژگی‌های بافتی نان در روز اول و سوم پس از پخت  
Table 3- The significant values of the components of the quadratic equation and their statistical parameters for the textural properties of bread on the first and third day after baking

Source	Hardness (First day)	Hardness (Third day)	Chewiness (First day)	Chewiness (Third day)	Cohesiveness (First day)	Cohesiveness (Third day)	Springiness (First day)	Springiness (Third day)
منبع	سفتی (روز اول)	سفتی (روز سوم)	قابلیت جویدن (روز اول)	قابلیت جویدن (روز سوم)	روز اول	پیوستگی	اول	الاستیسیته روز سوم
P-Value (Model)	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****
(مدل)								
P-Value (A)	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	0.0034**	ns	ns	<0.0001****	<0.0001****
P-Value (B)	ns	0.0111*	0.0047**	0.0003*	0.241*	0.0179*	ns	0.0111*
P-Value (C)	ns	<0.0001****	0.0009***	ns	<0.0001****	ns	<0.0001****	<0.0001****
P-Value (AB)	0.0167*	ns	0.0112*	ns	ns	0.0001****	ns	ns
P-Value (AC)	0.0009***	0.0002***	0.0003***	ns	0.0045**	ns	ns	ns
P-Value (BC)	ns	0.0008***	<0.0001****	0.0319*	ns	0.0051**	ns	0.0082**
P-Value (A <sup>2</sup> )	0.0433*	ns	0.0005***	ns	<0.0001****	ns	ns	ns
P-Value (B <sup>2</sup> )	<0.0001****	0.0196*	0.0045**	<0.0001****	0.0138*	ns	0.0056**	0.0031**
P-Value (C <sup>2</sup> )	ns	ns	0.0248*	<0.0001****	ns	0.0001****	ns	0.0123*
P-Value (Lack of Fit)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
(عدم برازش)								
R <sup>2</sup>	0.9309	0.9372	0.9618	0.9588	0.9158	0.9210	0.9588	0.9124
ضریب تبیین								
Adjusted-R <sup>2</sup>	0.8806	0.9006	0.9274	0.9288	0.8545	0.8636	0.9288	0.8720
ضریب تبیین اصلاح								
C.V.	6.59	3.27	6.37	4.47	6.77	4.83	2	1.70
ضریب تغییرات								

A, B, C, ns, \*, \*\*, \*\*\* and \*\*\*\* respectively indicate SSL emulsifier, xylanase enzyme, sugar alcohol sorbitol, non-significance, significance at levels (p<0.05), (p<0.01), (p<0.001) and (p<0.0001).

ns, C, B, A به ترتیب نشان دهنده امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز، قند الکلی سوربیتول، عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطوح (p<0.05)، (p<0.01)، (p<0.001) و (p<0.0001) هستند.



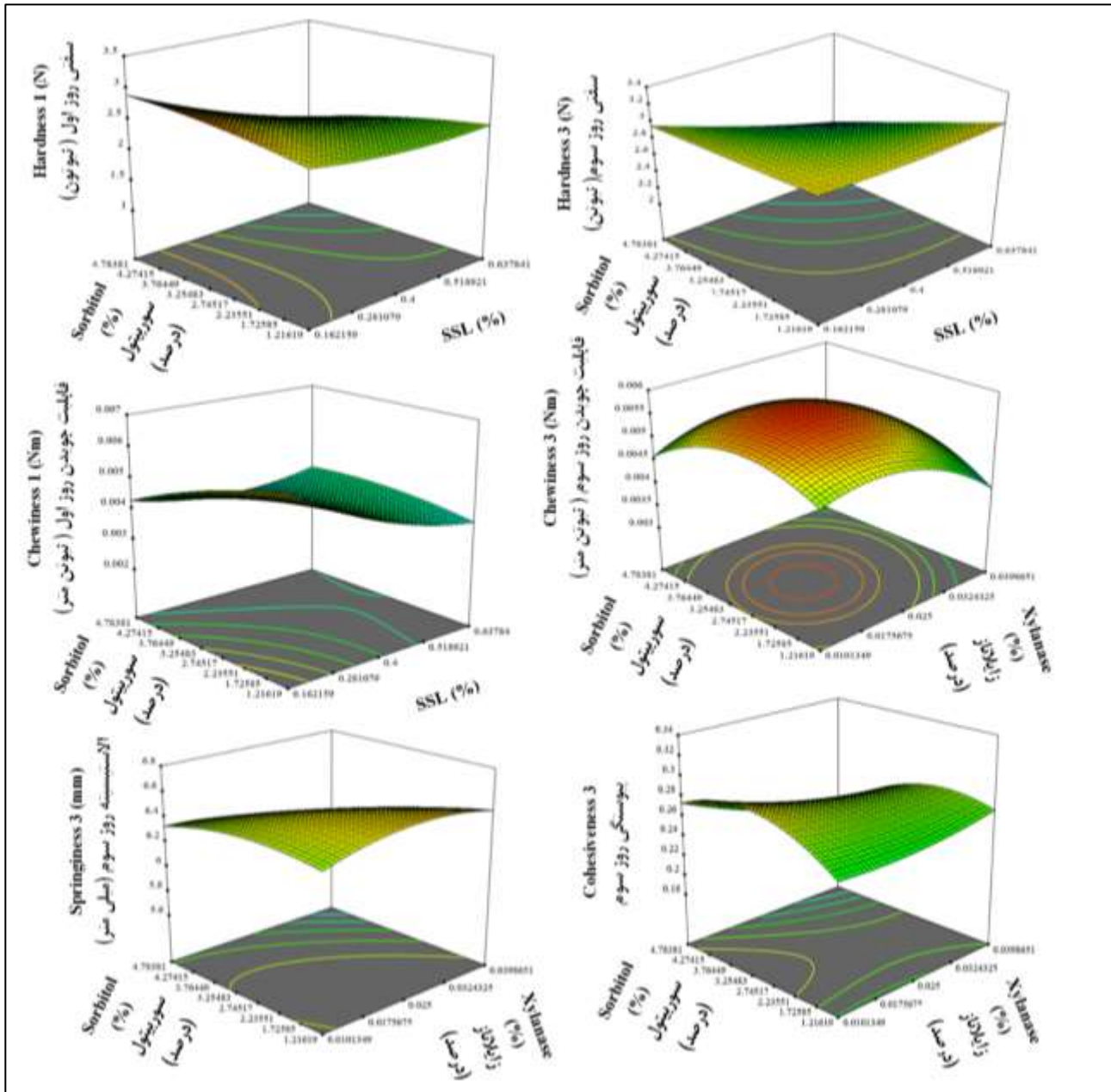


$$\text{Springiness 1} = +6.87 - 0.04294 * A + 0.0011 * B - 0.2035 * C + 0.0865AC - 0.1159 * B^2$$

(Y)

$$\text{Springiness 3} = +6.87 - 0.2391 * A - 0.0863 * B - 0.1599 * C - 0.1189BC - 0.1025 * B^2 - 0.0821C^2$$

(A)



شکل ۱- اثر متقابل متغیرها برای ویژگی‌های بافتی نان در روز اول و سوم پس از پخت

Fig. 1. The interaction of variables for textural properties of bread on the first and third day after baking

نان‌ها مشاهده کرده‌اند. شولشنر و همکاران (Schoenlechner *et al.*, 2013) بیان کردند که آنزیم زایلاناز باعث افزایش قابل توجه حجم نان حاوی نسبت برابر آرد ارزن و گندم گردیده است. از جمله مکانیسم‌های تأثیرگذار بر افزایش حجم نان‌های غنی‌شده با فیبر در اثر افزودن آنزیم زایلاناز، تبدیل آرایینوزایلان‌های نامحلول به فرم محلول و تجزیه پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای به ساکاریدهای کوتاه زنجیره می‌باشد که به ترتیب موجب بهبود ظرفیت نگهداری گاز در خمیر و مداخله کمتر در تشکیل شبکه گلوتهی و افزایش حجم مخصوص می‌گردند (Altinel & Ünal, 2017a; Matsushita *et al.*, 2017). به علاوه دودو و همکاران (Dudu *et al.*, 2020) و آتالی و همکاران (Atalay *et al.*, 2013) دریافتند که امولسیفایر SSL از طریق جذب آب بالا در ماتریکس آرد، سبب تسهیل برقراری پیوندهای عرضی بیشتر میان پروتئین و نشاسته و تشکیل شبکه گلوتهی قوی‌تر با ظرفیت نگهداری گاز بالاتر و حجم بیشتر در نان حاوی آرد مخلوط کاساوا-گندم و نان غنی‌شده با سیوس گندم سیاه و آرد کامل گندم می‌گردد. ژو و همکاران (Zhou *et al.*, 2016) نیز بیان کردند که افزودن قند الکلی سوربیتول در مقادیر کمتر از ۸ درصد، از طریق افزایش هیدراتاسیون شبکه گلوتهی و بهبود قابلیت نگهداری گاز در آن، باعث افزایش حجم مخصوص نان سفید گردید و اضافه کردن مقادیر بالاتر از ۸ درصد موجب کاهش استحکام و قدرت ور آمدن خمیر شد.

به‌علاوه روند تغییرات الاستیسیته در روز سوم نسبت به روز اول کاهش بود. تیمارهای شماره ۲ و ۱۷ که دارای مقادیر حداقل امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول و به ترتیب ۰/۰۱۳ و ۰/۰۳۹۶۸ درصد آنزیم زایلاناز بودند، بالاترین میزان الاستیسیته را در روزهای اول و سوم داشتند.

آرایینوزایلان‌های محلول حاصل از تجزیه فرم نامحلول به‌وسیله آنزیم زایلاناز، کشش کمتری نسبت به جذب آب داشته و با افزایش جذب آب در شبکه گلوتهن-نشاسته، باعث بهبود الاستیسیته نان می‌گردند (Ghoshal *et al.*, 2016). در پژوهش شاه و همکاران (Shah *et al.*, 2006) نیز مشخص شد که آنزیم زایلاناز تأثیر چندانی بر پارامتر الاستیسیته نان حاصل از آرد کامل ندارد و حتی کاهش ناچیزی در الاستیسیته نان‌ها قابل مشاهده است.

#### اثر مواد بهبوددهنده بر حجم مخصوص نان

بنابر نتایج آنالیز داده‌ها در جدول ۴ و معادله ۹، هر سه ماده بهبوددهنده در حالت خطی دارای اثر مثبت معنی‌دار بر پارامتر حجم مخصوص نان بودند ( $p < 0/01$ ). مطابق با شکل ۲ در حالت متقابل نیز افزایش امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز و همچنین متغیرهای امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول منجر به افزایش معنی‌دار این پارامتر گردید ( $p < 0/05$ ). مشابه با نتایج این پژوهش، محققان اثر مثبت هر سه ماده بهبوددهنده را در نان‌های غنی‌شده با فیبر و دیگر انواع

$$\text{Specific Volume} = +2.53 + 0.0348 * A + 0.1118 * B + 0.0591 * C - 0.1000 * AB + 0.0375 * AC + 0.0512 * A^2 + 0.0819 * B^2 \quad (9)$$

یافت ( $p < 0/05$ ). امولسیفایر SSL به‌واسطه ممانعت از هدر رفتن آب موجود در ساختار خمیر، موجب کاهش افت وزن نان می‌گردد (Lakshminarayan *et al.*, 2006). به‌طور مشابه با نتایج این پژوهش، لویز-تنوریو و همکاران (López-Tenorio *et al.*, 2015) دریافتند که افزایش در میزان امولسیفایر SSL از ۰ تا ۱ درصد، باعث افزایش وزن نان‌ها بلافاصله پس از پخت می‌گردد که این امر مرتبط با ظرفیت جذب آب بالا در این امولسیفایر است. در پژوهشی پیشه و کاتور (Bhise & Kaur, 2014) نیز دریافتند که افزودن قند الکلی سوربیتول در مقادیر کم (۲ درصد) به‌واسطه افزایش ظرفیت جذب آب خمیر، باعث افزایش وزن نان پس از پخت گردیده است.

#### اثر مواد بهبوددهنده بر افت وزن نان

یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی که در طی فرآیند پخت نان اتفاق می‌افتد، از دست رفتن رطوبت است. اگر در فرآیند پخت نان مقدار رطوبت زیادی از دست برود، فرآورده حاصل وزنی پایین‌تر از حد معمول خواهد داشت. در این پژوهش تیمارهای حاوی دارای کمترین افت وزن بودند. همانطور که در معادله ۱۰، جدول ۴ و شکل ۲ نشان داده شده است، اثر خطی قند الکلی سوربیتول بر افت وزن نان بسیار معنی‌دار و مثبت بود ( $p < 0/0001$ ) و همچنین تقابل این ماده با امولسیفایر SSL حاکی از این امر بود که با افزایش مقدار امولسیفایر SSL و کاهش قند الکلی سوربیتول، مقدار افت وزن نان پس از پخت به‌صورت معنی‌داری کاهش

$$\text{Weight Loss} = +17.53 - 0.3074 * A + 0.5605 * B + 2.43 * C + 0.5909 * AB + 1.87AC + 1.51 * BC + 0.8310A^2 - 0.5645B^2 - 1.60 * C^2 \quad (10)$$



### اثر مواد بهبوددهنده بر رطوبت نان

محتوای رطوبت به طور مستقیم با پارامتر نرمی بافت نان ارتباط دارد. آنالیز داده‌ها در جدول ۴ و معادلات ۱۱ و ۱۲ نشان داد که اثر مستقل آنزیم زایلاناز بر رطوبت مغز نان در روز اول پس از پخت مثبت و بسیار معنی‌دار بود ( $p < 0.0001$ ) و با افزایش مقادیر آنزیم زایلاناز، رطوبت مغز نان در روز اول پس از پخت، افزایش یافت. هم‌طور که در شکل ۲ نمایش داده شده است، اثر متقابل این آنزیم با امولسیفایر SSL نیز در روز اول مثبت و معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). اما در روز سوم افزایش خطی قند الکلی سوربیتول باعث کاهش بسیار معنی‌دار رطوبت مغز نان گردید ( $p < 0.0001$ )، درحالی‌که اثر متقابل آنزیم زایلاناز با قند الکلی سوربیتول بر این پارامتر موجب افزایش معنی‌دار آن شد ( $p < 0.01$ ). بررسی محتوای رطوبت مغز نان‌ها در روز سوم نسبت به روز اول، نمایانگر روند کاهشی آن بود. نمونه شماره ۱۷ که دارای کمترین میزان قند الکلی سوربیتول و مقدار بالای آنزیم زایلاناز است، بالاترین میزان محتوای رطوبت در مغز نان در زمان ۳ روز پس از پخت داشت. قند الکلی سوربیتول و امولسیفایر SSL به ترتیب در روز اول و سوم پس از پخت بنابر نتایج آنالیز داده‌ها در جدول ۴ و معادلات ۱۳ و ۱۴، به صورت مستقل باعث کاهش معنی‌دار رطوبت پسته نان گردیدند ( $p < 0.01$ ). در روز سوم پس از پخت، تقابل امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول در روز سوم پس از پخت که در شکل ۲ نشان داده شده است، رطوبت پسته نان را به صورت بسیار معنی‌داری کاهش داد ( $p < 0.0001$ ). مقایسه رطوبت نمونه‌های نان در روز اول و سوم نشان داد که مقدار این کمیت نرخ افزایشی دارد. اما امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول نقش به‌سزایی در جلوگیری از مهاجرت رطوبت از مغز

نان به پوسته دارند و تیمارهای شماره ۱۰ با دارا بودن مقادیر ۰/۸ درصد SSL و ۳ درصد سوربیتول و تیمار شماره ۴ که حاوی ۰/۶۳۷۸ درصد SSL و ۴/۷۸ درصد سوربیتول می‌باشند، دارای کمترین میزان رطوبت در پوسته نان در روز سوم بودند.

آنزیم زایلاناز از طریق هیدرولیز همی سلولزها به اجزاء کوچکتر که دارای قابلیت نگهداری آب بالاتری هستند، باعث ممانعت از توزیع مجدد آب بین گلوتن و نشاسته و همچنین نگهداری آب در مغز نان و ممانعت از خروج آن می‌گردد (Ahmad et al., 2014). مشابه با نتایج بدست آمده در این پژوهش در خصوص رطوبت مغز نان، تبین و همکاران (Tebben et al., 2020) نیز پس از بررسی تأثیر ۵ آنزیم مختلف از جمله آنزیم زایلاناز را بر رطوبت مغز نان حاصل از آرد کامل گندم دریافتند که محتوای رطوبت نان‌ها پس از افزودن آنزیم زایلاناز، افزایش یافت ولی تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نمونه شاهد و نمونه حاوی آنزیم مشاهده نشد. وجود گروه‌های هیدروکسیل در ساختار قندهای الکلی که موجب ایجاد ظرفیت بالایی برای اتصال با مولکول‌های آب در آن‌ها می‌گردد، موجب جلوگیری از خروج آب در نمونه در طی مدت زمان نگهداری می‌شود (Ding & Yang, 2021). بنابراین کاهش محتوای رطوبت پسته نان‌ها در اثر افزودن قند الکلی پس از ۳ روز زمان نگهداری را می‌توان به ظرفیت جذب آب بالا در این قندها و ممانعت از خروج آب از مغز نان به پوسته، نسبت داد. پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad et al., 2014) نیز دریافتند که امولسیفایر SSL با دارا بودن خاصیت آب دوستی، نسبت به سایر اجزاء نان توانایی برقراری پیوندهای قوی‌تری با مولکول‌های آب دارد و به واسطه ظرفیت نگهداری آب بالا، از خروج آب جلوگیری می‌کند.

$$\text{Crumb Moisture}_1 = +42.71 + 26.20 * A + 0.8990 * B - 0.0889 * C - 0.4959AB - 0.6576 * AC - 0.2665 * A^2 - 0.7470 * B^2 - 0.6184C^2 \quad (11)$$

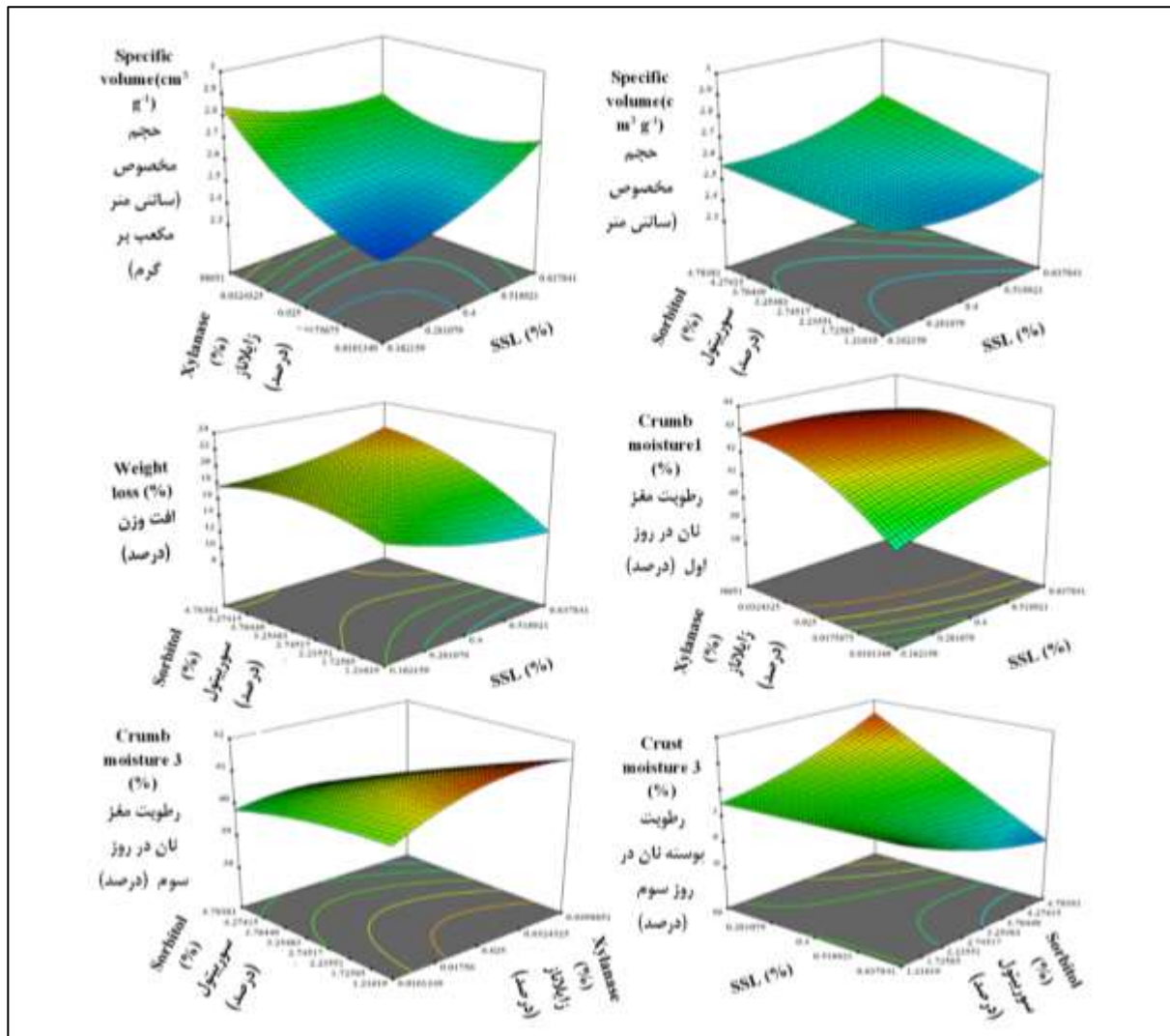
$$\text{Crumb Moisture}_3 = +0.4090 + 0.1423 * A + 0.0862 * B - 0.7489 * C + 0.3600 * AC - 0.03900 * BC + 0.1571A^2 - 0.4669B^2 - 0.1594 * C^2 \quad (12)$$

$$\text{Crust Moisture}_1 = +22.24 + 0.9390 * A + 0.6775 * B - 0.7822 * C + 0.03425 * AB + 0.1325 * BC - 0.4477 * A^2 + 0.7614 * B^2 - 0.8198 * C^2 \quad (13)$$

$$\text{Crust Moisture}_3 = +30.31 - 0.8781 * A + 0.2257 * B - 0.0035 * C - 0.9825 * AC - 0.3625 * BC + 0.2842 * B^2 - 0.2755 * C^2 \quad (14)$$

زایلاناز و امولسیفایر SSL در حالت مستقل و همچنین به صورت متقابل موجب افزایش معنی‌دار پارامتر روشنایی پوسته نان گردید، بررسی‌های گوشال و همکاران (Ghoshal *et al.*, 2016) نشان داد که آنزیم زایلاناز باعث افزایش پارامتر  $L^*$  در پوسته نان حاوی آرد کامل گندم می‌شود. اما یافته‌های ماتسوشیتا و همکاران (Matsushita *et al.*, 2017) مغایر با این نتایج بود و با اضافه کردن آنزیم زایلاناز روشنایی پوسته نان به مقدار قابل توجهی کاهش یافت.

اثر مواد بهبوددهنده بر پارامترهای رنگ پوسته نان در این پژوهش رنگ پوسته نان، در فضای رنگ CIELAB مورد مطالعه قرار گرفت. پارامتر  $L^*$  محدوده روشنایی را از صفر (رنگ سفید) تا ۱۰۰ (رنگ سیاه) مشخص می‌کند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که وجود ذرات سیوس در نان باعث کاهش روشنایی در رنگ آن می‌گردد (Wijngaard & Arendt, 2006). نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها در جدول ۵، معادله ۱۵ و شکل ۳، بیانگر این نکته بود که افزایش آنزیم



شکل ۲- اثر متقابل متغیرها بر پارامترهای حجم مخصوص، افت وزن و رطوبت پوسته و مغز نان

Fig. 2. The interaction effect of variables on the parameters of specific volume, weight loss and moisture of crust and crumb of bread

جذب آب آزاد شده از پنتوزان‌ها به وسیله شبکه گلوتهنی باشد. این امر نشان می‌دهد که فرآورده‌های نانویی با جذب آب بالاتر دارای پارامتر

مقدار بالاتر پارامتر  $L^*$  در نان حاوی آنزیم زایلاناز ممکن است بواسطه توانایی این آنزیم در تبدیل آرابینوزایلان‌ها از فرم نامحلول به محلول و

نتایج بیشه و کاتور (Bhise & Kaur, 2017) با نتایج این پژوهش تطابق نداشت و افزودن قند الکی سوربیتول منجر به افزایش قابل توجه پارامتر روشنایی پوسته نان گردید که علت آن را عدم شرکت قندهای الکی در واکنش مایلارد و برهمکنش با آمینواسیدها عنوان می‌کنند.

$$\text{Crust } L^* = +80.89 + 1.51 * A + 1.06 * B - 0.7404 * C - 1.14AB + 0.3084 * AC - 0.2759 * A^2 + 0.4180 * B^2 + 0.4881C^2 \quad (15)$$

پژوهش افزودن آنزیم زایلاناز و قند الکی سوربیتول با افزایش پارامتر  $b^*$  موجب افزایش زردی و همچنین آنزیم زایلاناز با کاهش پارامتر  $a^*$  منجر به کاهش قرمزی گردیدند که باعث بهبود کیفیت رنگ نان شد. مطالعات احمد (Ahmad, 2016)، در رابطه با اثر قند الکی سوربیتول بر نان نتایج متفاوتی را نشان داد و کاهش قابل ملاحظه‌ای در پارامتر-های  $a^*$  و  $b^*$  با افزودن قند الکی سوربیتول در پوسته نان بدون گلوتن مشاهده گردید. نتایج پژوهش گوشال و همکاران (Ghoshal et al., 2016) و ماتسوشیتا و همکاران (Matsushita et al., 2017) حاکی از کاهش قابل ملاحظه در پارامترهای  $a^*$  و  $b^*$  پوسته نان تولید شده با آرد کامل در اثر افزودن آنزیم زایلاناز بود که در مورد پارامتر  $a^*$  با نتایج این پژوهش همخوانی داشت.

$$\text{Crust } a^* = -5.59 - 0.0041 * A - 0.2263 * B + 0.2225 * C - 0.1909 * BC - 0.2247A^2 - 0.2876 * B^2 \quad (16)$$

$$\text{Crust } b^* = +21.05 - 0.1712 * A - 1.80 * B + 1.08 * C - 1.06 * AB - 0.8537 * BC - 0.9545 * A^2 + 0.4304 * C^2 \quad (17)$$

پورفرزاد و همکاران (Pourfarzad et al., 2014) به نتایج مشابهی در رابطه با اثر مستقل منفی امولسیفایر SSL بر تخلخل نان بربری دست یافتند. اما مطالعه دودو و همکاران (Dudu et al., 2020) درخصوص اثر افزودن امولسیفایر SSL به نان حاوی مخلوط آردکاساوا و گندم نتایج نشان داد که این بهبوددهنده باعث افزایش تعداد حفرات، تخلخل و سطح حفرات مغز نان گردید که این امر منطبق با جذب آب بالا به وسیله امولسیفایر SSL و بهبود خصوصیات مرتبط با پایداری خمیر و افزایش ظرفیت نگهداری گاز در آن می‌باشد.

$$\text{Pore Area Fraction} = +0.0484 - 0.0172 * A - 0.0054 * B + 0.0062 * C + 0.0165 * AB + 0.0040 * AC + 0.0269 * A^2 - 0.0059 * C^2 \quad (18)$$

روشنایی بالاتری هستند (Niu et al., 2017). امولسیفایر SSL نیز باتوجه به ظرفیت جذب آب بالا و افزایش جذب آب در خمیر، با رقیق سازی آمینواسیدها و قندها موجب افزایش پارامتر روشنایی پوسته نان غنی شده با لوبین و نان بربری گردید (Bilgiçli et al., 2014; Pourfarzad et al., 2012). اما درخصوص اثر قند الکی سوربیتول

در فضای CIELAB پارامتر  $a^*$  محدوده روشنایی را از  $+60$  (رنگ قرمز) تا  $-60$  (رنگ سبز) و پارامتر  $b^*$  محدوده روشنایی را از  $+60$  (رنگ زرد) تا  $-60$  (رنگ آبی) مشخص می‌کند. برطبق معادله ۱۶ و آنالیز داده‌ها در جدول ۵، اثر مستقل آنزیم زایلاناز بر پارامتر  $a^*$  رنگ پوسته نان کاهنده بود ( $p < 0/01$ ). ضمن آنکه افزایش قند الکی سوربیتول موجب افزایش خطی معنی‌دار پارامتر  $a^*$  در پوسته نان گردید ( $p < 0/01$ ). اثر متقابل آنزیم زایلاناز و قند الکی سوربیتول نیز بر پوسته نان که در شکل ۳ ارائه شده است، بر این پارامتر افزایش‌دهنده بود ( $p < 0/01$ ). نتایج معادله ۱۷ و آنالیز داده‌ها در جدول ۵، حاکی از این مطلب بود که افزایش خطی آنزیم زایلاناز و قند الکی سوربیتول موجب افزایش معنی‌دار پارامتر  $b^*$  در پوسته نان گردید ( $p < 0/05$ ). غنی‌سازی نان با ذرات سبوس گندم، منجر به کاهش رنگ زرد و ایجاد رنگ قرمز مایل به خاکستری در پوسته نان می‌شود (Ghoshal et al., 2013). در این

اثر مواد بهبوددهنده بر ویژگی‌های حفرات مغز نان در این مطالعه اثر مواد بهبوددهنده بر تعداد حفرات، کسر سطح حفرات، مدور بودن، گردی و پیکپارگی حفرات مغز نان مورد بررسی قرار گرفت. تعداد حفرات و کسر سطح حفرات مغز نان برطبق معادلات ۱۸ و ۱۹ و آنالیز داده‌ها که در جدول ۵ ارائه شده است، با افزایش خطی امولسیفایر SSL کاهش معنی‌داری یافت ( $p < 0/001$ ). لیکن تقابل امولسیفایر SSL با آنزیم زایلاناز که در شکل ۳ نمایش داده شده است، نشانگر افزایش معنی‌دار کسر سطح حفرات مغز نان می‌باشد ( $p < 0/01$ ).

$$\text{Pore Number} = +287.95 - 64.2 * A - 3.17 * B - 39.52 * C + 14.50AB - 18.75 * AC + 22.25 * A^2 + 20.30 * B^2 \quad (19)$$

شاهی و زانتان بر نان انجام شد، ناجی-طیسی و محبی (Naji-Tabasi & Mohebbi, 2015) به این نتیجه دست یافتند که نانی که دارای ساختاری با حفرات دایره‌ای شکل است، پایداری مورفولوژیکی بالاتری دارد. بنابراین اثر مثبت امولسیفایر SSL بر پارامتر مدور بودن در این پژوهش، باعث افزایش پایداری ساختار حفرات مغز نان می‌گردد. به‌طور مشابه در پژوهش صورت گرفته در رابطه با اثر امولسیفایر SSL بر ساختار حفرات مغز نان بربری مشخص شد که افزودن امولسیفایر SSL تا میزان ۲ درصد باعث افزایش پارامتر مدور بودن حفرات مغز نان می‌گردد (Pourfarzad et al., 2012).

پارامتر مدور بودن نشان‌دهنده این مطلب است که شکل یک حفره تا چه میزان به شکل دایره نزدیک است و اگر مقدار این پارامتر در حفرات تصویر یک باشد، آن حفرات دایره کامل هستند و در صورتی که مقدار صفر در این پارامتر نشان دهنده کشیدگی حفره است. اثر مستقل متغیر امولسیفایر SSL، بر ویژگی مدور بودن حفرات مغز نان بنابر نتایج آنالیز داده‌ها در **جدول ۵** و **معادله ۲۰**، به‌صورت معنی‌داری مثبت بود ( $p < 0.01$ ) و افزایش این متغیر منجر به افزایش این ویژگی گردید. به‌علاوه اثر متقابل این امولسیفایر و آنزیم زایلاناز نیز سبب افزایش بسیار معنی‌دار ( $p < 0.0001$ ) این ویژگی گردید که در **شکل ۳** نشان داده شده است. در پژوهشی که در رابطه با افزودن صمغ دانه

$$\text{Circularity} = +0.3743 + 0.0193 * A - 0.0080 * B + 0.0019 * C - 0.0332AB - 0.0294 * BC - 0.0398 * A^2 - 0.0291 * C^2 \quad (20)$$

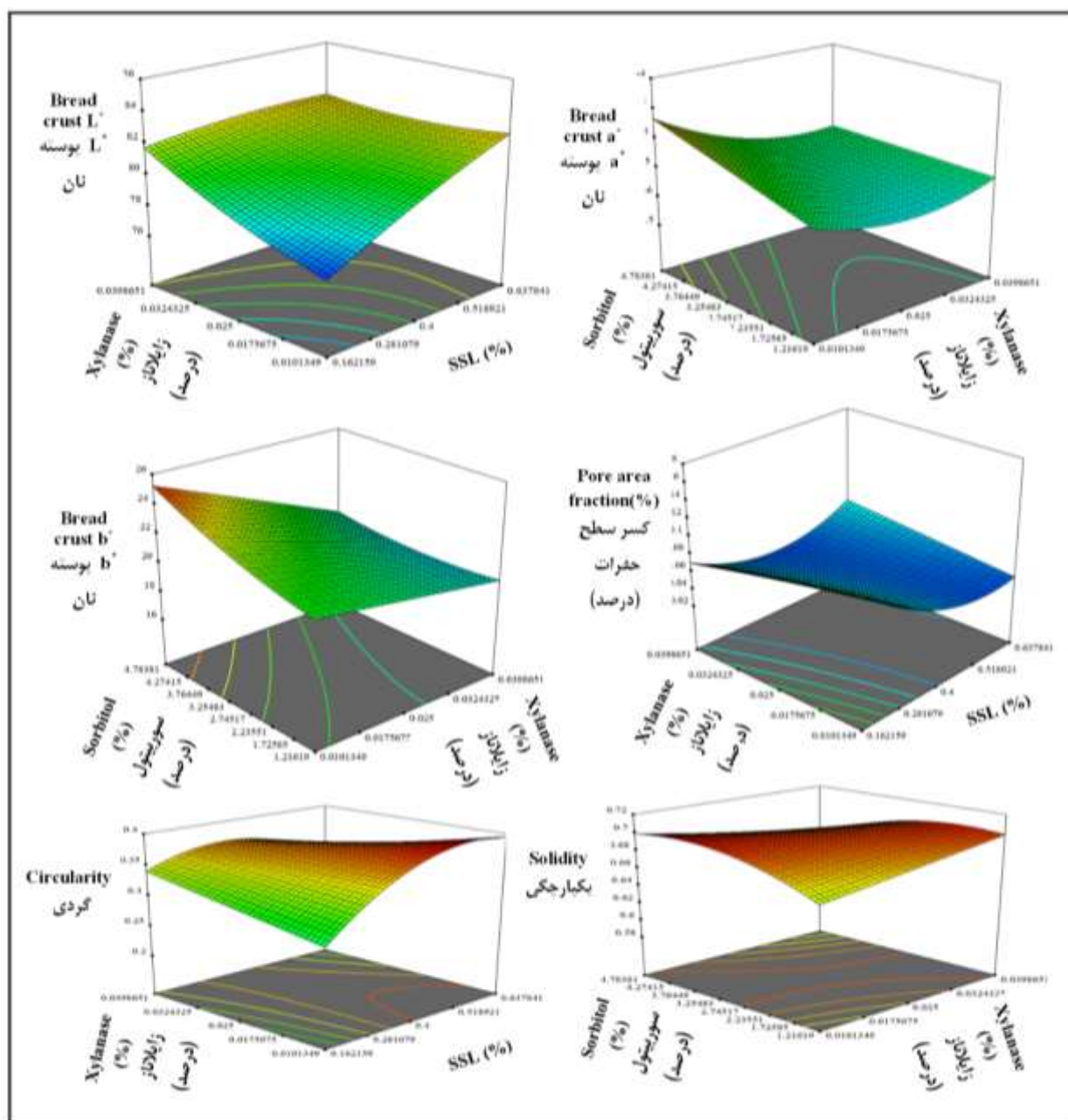
معنی‌داری افزایش می‌دهد ( $p < 0.01$ ). مطابق با نتایج به دست آمده در این پژوهش در رابطه با اثر مثبت خطی امولسیفایر SSL بر پارامتر یکپارچگی حفرات مغز نان، پژوهش محققان نشان داد که افزودن هیدروکلئید به نان باعث شکل‌گیری حفراتی با شکل معمول‌تر و پارامتر یکپارچگی بالاتر می‌گردد (Naji-Tabasi & Mohebbi, 2015).

#### بهینه‌سازی

در نرم افزار دیزاین اکسپرت می‌توان بهینه‌سازی را در راستای رساندن یک پاسخ یا ترکیبی از دو یا چند پاسخ به یک میزان مشخص، حداقل یا حداکثر انجام داد. در این پژوهش نیز هدف دستیابی به ترکیب بهینه‌ای از مواد بهبوددهنده در راستای دستیابی به حداقل مقدار سفتی مغز نان و حداکثر میزان پیوستگی، حجم مخصوص، رطوبت مغز نان، پارامترهای روشنایی رنگ پوسته و یکپارچگی حفرات مغز نان بود. درصد بهینه مواد بهبود دهنده به‌وسیله نرم‌افزار دیزاین اکسپرت، با میزان مطلوبیت ۰/۷۰۴ به‌ترتیب برای امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول ۰/۵۶۳، ۰/۰۴۰ و ۲/۳۵۶ به‌دست آمد.

پارامتر گردی نشان می‌دهد که شکل یک حفره تا چه میزان متفاوت از شکل یک دایره است و حفرات گرد دارای مقدار گردی برابر با عدد یک هستند. برطبق **معادله ۲۱** و آنالیز داده‌ها در **جدول ۵**، افزایش متغیر قند الکلی سوربیتول منجر به افزایش معنی‌دار ویژگی گردی حفرات مغز نان شد ( $p < 0.05$ ). اما افزایش امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز باعث کاهش معنی‌دار این ویژگی گردید ( $p < 0.01$ ). مشابه با پارامتر مدور بودن، هرچه یک حفره گردتر باشد، بافت نان دارای ساختار مورفولوژیکی پایدارتری است (Naji-Tabasi & Mohebbi, 2015). بنابراین در این پژوهش با افزایش میزان قند الکلی سوربیتول در فرمولاسیون نان غنی شده با سبوس، ساختار مورفولوژیکی نان بهبود می‌یابد. پارامتر یکپارچگی نشان دهنده ثبات و پایداری بافت مغز نان است. زمانی که مقدار پارامتر یکپارچگی برابر با عدد ۱ است، نشان دهنده آن است که حفرات به شکل جامد می‌باشند و مقادیر کمتر از یک نشانگر یک شکل غیرمعمول در حفرات است. براساس **معادله ۲۲** و داده‌ها در **جدول ۵**، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مقادیر امولسیفایر SSL باعث افزایش معنی‌دار ویژگی یکپارچگی حفرات مغز نان گردید ( $p < 0.001$ ). ضمناً همانطور که در **شکل ۳** قابل مشاهده است، تقابل امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول مقادیر این ویژگی را به‌طور

$$\text{Roundness} = +0.3693 - 0.1435 * A - 0.1221 * B + 0.0831 * C - 0.0130 * AB + 0.3202 * AB + 0.1093 * BC + 0.0874 * A^2 - 0.1093 * B^2 \quad (21)$$



شکل ۳- اثر متقابل متغیرها برای رنگ تصویر و ویژگی‌های حفرات مغز نان

Fig. 3. The interaction effect of variables for the color of the bread image and the pore characteristics of bread crumb

$$\text{Solidity} = +69.69 + 0.0143 * A - 0.0018 * B - 0.0014 * C - 0.0063AC - 0.0171 * BC - 0.0262 * A^2 - 0.0158 * C^2$$

(۲۲)

همانطور که در جدول ۶ نشان داده شده است، دمای اولیه ژلاتیناسیون در روز اول پس از پخت به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از

ارزیابی خصوصیات حرارتی نمونه بهینه و شاهد



مورد اثر امولسیفایر SSL بر خصوصیات گرمایی نشاسته نشان داد که امولسیفایر SSL باعث کاهش مقادیر آنتالپی در طی فرآیند ژلاتیناسیون می‌گردد. کاهش آنتالپی ژلاتیناسیون به‌وسیله امولسیفایر مرتبط با برهمکنش میان بخش هیدروفوب امولسیفایر و ماریچج آمیلوز در مولکول نشاسته است. همچنین این امر می‌تواند بنا به برقراری پیوند بین بخش هیدروفیل امولسیفایر با آمیلوپکتین به‌واسطه‌ی پیوند هیدروژنی باشد. در نتیجه برقراری این پیوندها آب در دسترس گرانول‌های نشاسته کم می‌گردد که باعث کاهش آنتالپی ژلاتیناسیون می‌شود (Gómez et al., 2013).

نمونه شاهد است ( $p < 0.05$ ). آنتالپی ژلاتیناسیون نیز در روز اول و سوم پس از پخت در نمونه بهینه به طور قابل توجهی در مقایسه با نمونه‌ی شاهد پایین‌تر می‌باشد ( $p < 0.05$ ). محققان دریافتند که افزودن آنزیم زایلاناز با کاهش نرخ تشکیل و توسعه ساختارهای کریستالی و در نتیجه فرآیند کریستالیزاسیون نشاسته، موجب کم شدن آنتالپی ژلاتیناسیون در نان حجیم حاوی آرد کامل گندم می‌گردد (Ghoshal et al., 2017). همچنین فندهای الکلی همچون سوربیتول قادرند که میان زنجیره‌های نشاسته در نواحی آمورف پیوندهای هیدروژنی برقرار کنند و از این طریق باعث محدود کردن تورم نشاسته و افزایش دمای ژلاتیناسیون گردند (Ding & Yang, 2021). مطالعه پژوهشگران در

جدول ۶- خصوصیات حرارتی نمونه بهینه و شاهد (میانگین  $\pm$  انحراف معیار)

Table 6- Thermal properties of optimal and control samples (mean  $\pm$  standard deviation)

Samples	Initial gelatinization temperature on the first day (°C) دمای اولیه ژلاتیناسیون در روز اول	Gelatinization peak temperature on the first day (°C) دمای پیک ژلاتیناسیون در روز اول	Gelatinization enthalpy on the first day (J g <sup>-1</sup> ) آنتالپی ژلاتیناسیون در روز اول	Initial gelatinization temperature on the third day (°C) دمای اولیه ژلاتیناسیون در روز سوم	Gelatinization peak temperature on the third day (°C) دمای پیک ژلاتیناسیون در روز سوم	Gelatinization enthalpy on the third day (J g <sup>-1</sup> ) آنتالپی ژلاتیناسیون در روز سوم
Optimal sample نمونه بهینه	81.22 $\pm$ 3.035 <sup>b</sup>	101.34 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	58.10 $\pm$ 3.005 <sup>a</sup>	66.10 $\pm$ 3.02 <sup>a</sup>	101.33 $\pm$ 3.05 <sup>a</sup>	113.16 $\pm$ 3.01 <sup>a</sup>
Control sample نمونه شاهد	71.16 $\pm$ 3.01 <sup>a</sup>	98.26 $\pm$ 3.035 <sup>a</sup>	163.26 $\pm$ 3.035 <sup>b</sup>	64 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	96 $\pm$ 3 <sup>a</sup>	211.33 $\pm$ 3.51 <sup>b</sup>

وجود اعداد با حروف یکسان در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین دو نمونه است ( $p < 0.05$ ).

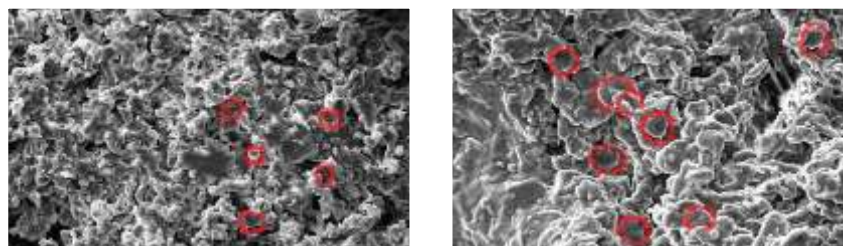
The presence of numbers with the same letters in each column indicates that there is no significant difference between the two samples ( $p < 0.05$ ).

امولسیفایر SSL از طریق ایجاد برهمکنش با آمیلوز در گرانول‌های نشاسته و برقراری پیوند با شبکه گلوتهی باعث افزایش برهمکنش نشاسته-پروتئین، توسعه ساختاری فشرده‌تر در بافت محصول گردیده است (Van Steertegem et al., 2013). همچنین امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول می‌توانند از طریق برقراری پیوند با مولکول‌های نشاسته و تغییر خصوصیات جذب آب در گرانول‌های نشاسته، باعث کاهش تورم در آن‌ها گردند (Ding et al., 2019). آنزیم زایلاناز نیز باعث ایجاد شبکه گلوتهی غیرمنقطع می‌شود که گرانول‌های نشاسته را به شکل بهتری در خود محصور ساخته است (Ghoshal et al., 2017).

#### ارزیابی تصاویر SEM بافت مغز نان نمونه بهینه و نان شاهد

ارزیابی تصاویر حاصل از شکل ۴ نشان می‌دهد که نان بهینه دارای شبکه گلوتهی متراکم‌تری نسبت به نمونه شاهد است و میان اجزاء شبکه گلوتهی برهمکنش‌های بیشتری مشاهده می‌شود. اما در نان شاهد (نمونه فاقد مواد بهبوددهنده) شبکه گلوتهی دارای پیوستگی کم‌تری است و گرانول‌های نشاسته موجود در آن تورم بیشتری نسبت به نمونه بهینه دارند که باتوجه به نتایج آزمون DSC، می‌توان گفت که مقادیر بیشتر نشاسته در دسترس و تورم بیشتر آن‌ها موجب افزایش ژلاتیناسیون و در نتیجه رتروگراداسیون بیشتر در نان شاهد می‌گردد.





شکل ۴- تصاویر SEM نمونه‌های بهینه و شاهد به ترتیب از چپ به راست (دایره‌های قرمز نشان دهنده گرانول‌های نشاسته هستند).

Fig. 4. SEM images of optimal and control samples from left to right respectively (Red circles represent starch granules).

## نتیجه گیری

اول پس از پخت، روشنایی پوسته، کسر سطح حفرات و مدور بودن مغز نانو اثر متقابل آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول بر پارامتر پیوستگی در روز سوم پس از پخت به میزان قابل ملاحظه‌ای موجب بهبود این پارامترها گردید که این مطلب نشان دهنده اثر هم‌افزای این سه ماده بهبوددهنده در بهبود خصوصیات فیزیکیوشیمیایی و تکنولوژیکی نان می‌باشد.

در نهایت نمونه بهینه و شاهد از نظر خصوصیات حرارتی و ریزساختار نان مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج آزمون DSC حاکی از کاهش قابل توجه مقادیر آنتالپی در روز اول و سوم پس از پخت و افزایش دمای اولیه واکنش در نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد بود. همچنین آنالیز تصاویر SEM نشان‌دهنده وجود گرانول‌های نشاسته در دسترس با تورم بیشتر در نمونه شاهد بود، اما در ریزساختار نمونه بهینه متراکم‌تر و میزان گرانول‌های نشاسته در دسترس و تورم آن‌ها کمتر بود. امولسیفایر SSL از طریق برهمکنش با بخش‌های آمیلوز و آمیلوپکتین در گرانول‌های نشاسته، قند الکلی سوربیتول به واسطه برقراری برهمکنش با مولکول‌های آب احاطه‌کننده زنجیره‌های نشاسته و یا برقراری پیوند میان زنجیره‌های نشاسته در نواحی آمورف و آنزیم زایلاناز بنابر کاهش نرخ تشکیل ساختارهای کریستالی می‌توانند به صورت هم‌افزایی موجب کاهش ژلاتیناسیون گرانول‌های نشاسته، آنتالپی و در نتیجه فرآیند رتروگراداسیون آمیلوپکتین و بیاتی نان گردند. در نتیجه نمونه‌ای بهینه با خواص تغذیه‌ای و کیفیت مناسب بدست آمد.

در این پژوهش به منظور تولید نانی با خواص تغذیه‌ای و کیفیت مطلوب، به بررسی تأثیر ترکیب مواد بهبوددهنده امولسیفایر SSL، آنزیم زایلاناز و قند الکلی سوربیتول بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی، تکنولوژیکی نان قالبی غنی شده با ۱۵ درصد سیوس فرآوری شده گندم و نهایتاً خواص حرارتی و ریزساختار نمونه بهینه با استفاده از روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر پرداختیم. نتایج آزمایشات نشان داد که سفتی مغز نان تحت تأثیر امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول و قابلیت جویدن با افزودن امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز، به طور معنی‌داری کاهش یافتند. هر سه ماده بهبوددهنده موجب افزایش معنی‌دار حجم مخصوص نان گردیدند. ویژگی‌های مرتبط با حفرات مغز نان همچون یکپارچگی و مدور بودن در اثر افزودن امولسیفایر SSL و ویژگی گردی با اضافه کردن قند الکلی سوربیتول به طور معنی‌داری بهبود یافتند. روشنایی پوسته نان نیز به وسیله امولسیفایر SSL و آنزیم زایلاناز به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. آنزیم زایلاناز و دو ماده قند الکلی و امولسیفایر SSL نیز به ترتیب باعث بهبود معنی‌دار رطوبت مغز و پوسته نان گردید. به علاوه اثر متقابل امولسیفایر SSL و قند الکلی سوربیتول بر پارامترهای قابلیت جویدن نان در روز اول پس از پخت، حجم مخصوص و یکپارچگی مغز نان و همچنین اثر متقابل آنزیم زایلاناز و امولسیفایر SSL بر پارامترهای حجم مخصوص، قابلیت جویدن در روز سوم، رطوبت مغز نان در روز

## منابع

1. AACC, I. (2000). *Approved Methods of the AACC*. Association of Cereal Chemists, St. Paul.
2. Ahmad, A. (2016). *Optimization of gluten free bread formulation by adding xanthan gum, Potato starch and sorbitol using response surface methodology*. Pp. 607–15 in The National Conference for Postgraduate Research.
3. AOAC. (2000). *Methods of Analysis of AOAC International*. AOAC INTERNATIONAL, Maryland, USA(2003).
4. Burak, A., & Sezgin Ünal, S. (2017a). The effects of amyloglucosidase, glucose oxidase and hemicellulase utilization on the rheological behaviour of dough and quality characteristics of bread. *International Journal of Food Engineering*, 13(2). <https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0066>.
5. Burak, A., & Sezgin Ünal, S. (2017b). The effects of certain enzymes on the rheology of dough and the quality characteristics of bread prepared from wheat meal. *Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1628–37. <http://doi.org/10.1007/s13197-017-2594-8>.

6. Bakke, A., & Vickers, Z. (2007). Consumer liking of refined and whole wheat breads. *Journal of Food Science*, 72(7), 473–80. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00440.x>
7. Suresh, B., & Kaur, A. (2014). Baking quality, sensory properties and shelf life of bread with Polyols. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2054–61. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1256-3>.
8. Suresh, B., & Kaur, A. (2017). Synergistic effect of polyols and fibres on baking, sensory and textural quality of bread with improved shelf life. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 1–12. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.001>
9. Bilgiçli, N., Demir, M.K., & Yilmaz, C. (2014). Influence of some additives on dough and bread properties of a wheat-lupin flour blend. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 6(2), 167–73. <https://doi.org/10.3920/QAS2012.0193>
10. Borges, V.C., & Salas-Mellado, M.M. (2016). Influence of  $\alpha$ -amilase, trehalose, sorbitol, and polysorbate 80 on the quality of gluten-free bread. *International Food Research Journal*, 23(5), 1973–79.
11. Both, J., Biduski, B., Gómez, M., Elita Bertolin, T., Tereza Friedrich, M., & Carlos Gutkoski, L. (2020). Micronized whole wheat flour and xylanase application: dough properties and bread quality. *Journal of Food Science and Technology*, 56(10), 3902–12. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04851-2>
12. Colakoglu, Abdullah S., & Hazim, Ö. (2012). Potential use of exogenous lipases for DATEM replacement to modify the rheological and thermal properties of wheat flour dough. *Journal of Cereal Science*, 55(3), 397–404. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.02.001>
13. Ding, Sh., Peng, B., Li, Y., & Yang, J. (2019). Evaluation of specific volume, texture, thermal features, water mobility, and inhibitory effect of staling in wheat bread affected by maltitol. *Food Chemistry*, 283, 123–30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.045>
14. Ding, Sh., & Yang, J. (2021). The effects of sugar alcohols on rheological properties, functionalities, and texture in baked products – A review. *Trends in Food Science and Technology*, 111(March), 670–79. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.009>
15. Dost, K., & Tokul, O. (2006). Determination of phytic acid in wheat and wheat products by reverse phase high performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 558(1–2), 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.11.035>
16. Driss, D., Bhiri, F., Siela, M., Bessess, S., Chaabouni, S., & Ghorbel, R. (2013). Improvement of breadmaking quality by xylanase GH11 from *Penicillium occitanis* Pol6. *Journal of Texture Studies*, 44(1), 75–84. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00367.x>
17. Dudu, Olayemi E., Ying Ma, Aminat Adelekan, Ajibola B. Oyedeji, Samson A. Oyeyinka, & Jessica W. Ogungbemi. (2020). Bread-making potential of heat-moisture treated cassava flour-additive complexes. *Lwt*, 130(April), 109477. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109477>
18. Eduardo, M., Svanberg, U., & Ahrné, L. (2016). Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the shelf-life of composite cassava-maize-wheat bread after storage. *Food Science and Nutrition*, 4(4), 636–44. <https://doi.org/10.1002/fsn3.326>.
19. Ferng, L., Liou, Ch., Yeh, R., & Hsin, Sh. (2015). Food hydrocolloids physicochemical property and glycemic response of chiffon cakes with different rice FI Ours. *Food Hydrocolloids*, 53, 172–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.020>
20. Ghoshal, G., Shivhare, U.S., & Banerjee, U.C. (2013). Effect of xylanase on quality attributes of whole-wheat bread. *Journal of Food Quality*, 36(3), 172–80. <https://doi.org/10.1111/jfq.12034>
21. Ghoshal, G., Shivhare, U.S., & Banerjee, U.C. (2016). Thermo-mechanical and micro-structural properties of xylanase containing whole wheat bread. *Food Science and Human Wellness*, 5(4), 219–29. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.09.001>
22. Ghoshal, G., Shivhare, U.S., & Banerjee, U.C. (2017). Rheological properties and microstructure of xylanase containing whole wheat bread dough. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1928–37. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2627-3>
23. Gomes, R., Rodrigues, C., Henrique da Cunha, R., Lopes Almeida, E., Kil Chang, Y., & Joy Steel, C. (2012). Effect of the emulsifier sodium stearoyl lactylate and of the enzyme maltogenic amylase on the quality of pan bread during storage.” *LWT - Food Science and Technology*, 49(1), 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.04.014>
24. Gómez, Analía V., Buchner, D., C. Tadini, C., C. Añón, M., & C. Puppo, M. (2013). Emulsifiers: effects on quality of fibre-enriched wheat bread. *Food and Bioprocess Technology*, 6(5), 1228–39. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0772-7>
25. Gonzalez, Rafael C., & Richard E. Woods. (2008). *Digital Image Processing Third Edition Pearson*.
26. Grausgruber, H., Miesenberger, S., Schoenlechner, R., & Vollmann, J. (2008). Influence of dough improvers on whole-grain bread quality of einkorn wheat. *Acta Alimentaria*, 37(3), 379–90.

- <https://doi.org/10.1556/AAlim.2008.0009>
27. Hemery, Y., Rouau, X., Lullien-Pellerin, V., Barron, C., & Abecassis, J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 327–47. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.09.008>
  28. Leandra Zafalon, J., Batista da Silva, C., Joy Steel, C., & Kil Chang, Y. (2012). Influence of xylanase addition on the characteristics of loaf bread prepared with white flour or whole grain wheat flour. *Food Science and Technology*, 32(4), 844–49. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612012005000116>
  29. Jiang, Y., Yimeng Zh., Yifan Zh., Sizhou Q., Yun D., & Yanyun, Zh. (2019). Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage. *Food Chemistry*, 297(January), 124902. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.176>
  30. Kassem, Mohammed A., & Alaa S.A. (2013). Spectrophotometric determination of iron in environmental and food samples using solid phase extraction. *Food Chemistry*, 141(3), 1941–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.038>
  31. Khalid, Khairunizah H., Jae-bom, O., & Simsek, S. (2017). Whole wheat bread: effect of bran fractions on dough and end-product quality. *Journal of Cereal Science*, 78, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.03.011>
  32. Kiumarsi, M., Shahbazi, M., Yeganehzad, S., Majchrzak, D., Lieleg, O., & Winkeljann, B. (2019). Relation between structural, mechanical and sensory properties of gluten-free bread as affected by modified dietary fibers. *Food Chemistry*, 277, 664–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.015>
  33. Kumar, V., Amit K. Sinha, Harinder P. S. Makkar, & Becker, K. (2010). Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chemistry*, 120(4), 945–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.052APA>
  34. Lakshminarayan, Sudha M., Rathinam, V., & KrishnaRau, L. (2006). Effect of maltodextrin and emulsifiers on the viscosity of cake batter and on the quality of cakes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(5), 706–12. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2400>
  35. Liu, W., Anne Brennan, M., Serventi, L., & Stephen Brennan, Ch. (2017). Effect of cellulase, xylanase and  $\alpha$ -amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran. *Food Chemistry*, 234, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.160>
  36. López-Tenorio, Julián Alfredo, Eduardo Rodríguez-Sandoval, & Uriel Sepúlveda-Valencia, J. (2015). The influence of different emulsifiers on the physical and textural characteristics of gluten-free cheese bread. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 227–39. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12121>
  37. Mahmut Hayali, A., Bilgiçli, N., Elgün, A., & Kürşat Demir, M. (2013). Effects of buckwheat (*Fagopyrum Esculentum* Moench) milling products, transglutaminase and sodium stearyl-2-lactylate on bread properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(1), 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00607.x>
  38. Matsushita, K., Marvin Santiago, D., Noda, T., Tsuboi, K., Kawakami, S., & Yamauchi, H. (2017). The bread making qualities of bread dough supplemented with whole wheat flour and treated with enzymes. *Food Science and Technology Research*, 23(3), 403–10. <https://doi.org/10.3136/fstr.23.403>
  39. Mudgil, D., Barak, Sh., & Khatkar, B.S. (2016). Optimization of textural properties of noodles with soluble fiber, dough mixing time and different water levels. *Journal of Cereal Science*, 69(5), 104–10. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.015>
  40. Naji-Tabasi, S., & Mohebbi, M. (2015). Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(1), 110–19. <https://doi.org/10.1007/s11694-014-9216-1>
  41. Niu, Meng, G. Hou, G., Kindelspire, J., Krishnan, P., & Zhao, S. (2017). Microstructural, textural, and sensory properties of whole-wheat noodle modified by enzymes and emulsifiers. *Food Chemistry*, 223, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.021>
  42. Noort, M., Daan van Haaster, W.J., Hemery, Y., A. Schols, H., & J. Hamer, R. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality—evidence for fibre–protein interactions. *Journal of Cereal Science*, 52(1), 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.003>
  43. Phimolsiripol, Y., Siripatrawan, U., Tulyathan, V., & J. Cleland, D. (2008). Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 84(1), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.016>
  44. Pourfarzad, A., Ahmadian, Z., & Tavassoli-Kafrani, M.H. (2019). The effect of sodium stearyl lactylate on structural changes of wheat gluten in a model system fortified with inulin: Investigation with fourier transform infrared spectroscopy. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 17(December 2018), 100175. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2018.12.001>
  45. Pourfarzad, A., Hosseini, M., & Khodaparast, H. (2014). Optimization of a Noveli mprover gel formulation for barbari flat bread using response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2344–56.

- <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0778-9>
46. Pourfarzad, A., Haddad Khodaparast, M.H., Karimi, M., Mortazavi, S.A., Ghiafeh Davoodi, M., Hematian Sourki, A., & Razavizadegan Jahromi, S.H. (2011). Effect of polyols on shelf-life and quality of flat bread fortified with soy flour. *Journal of Food Process Engineering*, 34(5), 1435–48. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2009.00541.x>
  47. Pourfarzad, A., Mohebbi, M., & Mazaheri-Tehrani, M. (2012). Interrelationship between image, dough and barbari bread characteristics; use of image analysis to predict rheology, quality and shelf life. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(7), 1354–60. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.2980.x>
  48. Purhagen Jeanette, K., Malin Sjö, E., & Eliasson, A. (2011). Food hydrocolloids starch affecting anti-staling agents and their function in freestanding and pan-baked bread. *Food Hydrocolloids*, 25(7), 1656–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.004>
  49. Sarabhai, S., Tamilselvan, T., & Prabhasankar, P. (2021). Role of enzymes for improvement in gluten-free foxtail millet bread: It's effect on quality, textural, rheological and pasting properties." *Lwt*, 137, 110365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110365>
  50. Schoenlechner, R., Szatmari, M., Bagdi, A., & Tömösközi, S. (2013). Optimisation of bread quality produced from wheat and proso millet (*Panicum miliaceum* L.) by adding emulsifiers, transglutaminase and xylanase. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 361–66. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.020>
  51. Shah, Amita R., Shah, R.K., & Madamwar, D. (2006). Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*. *Bioresource Technology*, 97(16), 2047–53. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.10.006>
  52. Shahbazi, M., Rajabzadeh, Gh., & Sotoodeh, Sh. (2017). Functional characteristics, wettability properties and cytotoxic effect of starch film incorporated with multi-walled and hydroxylated multi-walled carbon nanotubes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 597–605. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.031>
  53. Sheikholeslami, Z., Mahfouzi, M., Karimi, M., & Ghiafeh Davoodi, M. (2021). modification of dough characteristics and baking quality based on whole wheat flour by enzymes and emulsifiers supplementation. *LWT - Food Science and Technology*, 139(3), 110794. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110794>
  54. Silva, D., Batista, C., Lopes Almeida, E., & Kil Chang, Y. (2016). Interaction between xylanase, glucose oxidase and ascorbic acid on the technological quality of whole wheat bread. *Food Technology*, 46(12), 2249–56. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151587>
  55. Van Steertegem, B., Pareyt, B., Brijs, K., & A. Delcour, J. (2013). Impact of mixing time and sodium stearoyl lactylate on gluten polymerization during baking of wheat flour dough. *Food Chemistry*, 141(4), 4179–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.017>
  56. Sun, D. (2016). *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*. Academic Press.
  57. Lauren, T., Chen, G., Tilley, M., & Li, Y. (2020). Individual Effects of Enzymes and Vital Wheat Gluten on Whole Wheat Dough and Bread Properties. *Journal of Food Science*, 85(12), 4201–8. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15517>
  58. Yaoqi, T., Xu, X., Li, Y., Jin, Zh., Chen, H., & Wang, H. (2009). Effect of  $\beta$ -cyclodextrin on the long-term retrogradation of rice starch. *European Food Research and Technology*, 228(5), 743–48. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0985-9>
  59. Wijngaard, H.H., & Arendt, E.K. (2006). Buckwheat. *Cereal Chemistry*, 83(4), 391–401. <https://doi.org/10.1094/CC-83-0391>
  60. Tianyi, Y., Bai, Y., Wu, F., Yang, N., Zhang, Y., Bashari, M., Jin, Zh., & Xu, X. (2014). Combined effects of glucose oxidase, papain and xylanase on browning inhibition and characteristics of fresh whole wheat dough. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 249–54. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.04.002>
  61. Chong Fei, Z., Qian, P., Meng, J., Ming Gao, Sh., & Rong Lu, R. (2016). Effect of glycerol and sorbitol on the properties of dough and white bread. *Cereal Chemistry*, 93(2), 196–200. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-04-15-0087-R>
  62. Zulficar, A., Sadiq Butt, M., Ahmed, A., Riaz, Syed Mubashar Sabir, M., Farooq, U., & Ur Rehman, F. (2014). Effect of *Aspergillus niger* xylanase on dough characteristics and bread quality attributes. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2445–53. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0734-8>