Plant Prod., 2026, 49(3), 485- 498
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.50296.2289
Received: 18 August 2025
Accepted: 13 December 2025

Plant Productions
Research Article

Association of gliadin bands with bread making quality traits in bread wheat genotypes

Mohammad Vahed[1], Seyed Siamak Alavi Kia[1], Mostafa Valizadeh[1] Nasrin Akbari[2*]

1. Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Citation: Vahed, M., Alavi Kia, S.S., Valizadeh, M., & Akbari N. (2026). Association of gliadin bands with bread making quality traits in bread wheat genotypes. *Plant Productions*, 49(3), 485-498.

Abstract

Introduction

Wheat is one of the strategic crops worldwide in terms of human food consumption. Improved yield in grain as well as its quality for processing into flour for human consumption are the two major goals of any breeding program for ensuring food security particularly in developing countries. High baking quality is essential for producing acceptable bread and reducing post-baking losses. The use of molecular markers has facilitated the identification of genotypes with superior baking properties. Among these markers, seed storage proteins provide reliable indicators for assessing flour functionality. Gluten, the principal protein complex responsible for wheat dough properties, consists of gliadins and glutenins, which contribute differently to dough behavior. Glutenins primarily determine dough elasticity and strength, whereas gliadins influence viscosity and extensibility. The allelic diversity in gliadin proteins has been used as a marker system to characterize germplasm and to predict the baking quality of wheat. As a result, gliadin markers have become important tools for breeding wheat which has the processing properties and end-use quality that are required by growers and end-users.

Materials and Methods

In this study, gliadin banding profiles of 40 wheat genotypes—including 28 F_6 recombinant inbred lines from the Zagros × Norstar cross and 10 commercial cultivars—were characterized using A-PAGE vertical acrylamide gel electrophoresis. Marquis wheat band no. 50 served as the reference marker for scoring. Protein bands were visually identified, and their presence or absence was recorded as binary data. To determine the functional relevance of gliadin variation, associations between gliadin subunits (ω, γ, β, and α) and key bread-making quality parameters were analyzed. The evaluated traits included hectoliter weight, thousand-grain weight, protein content, Zeleny value, loaf volume, moisture, water absorption, wet gluten, gluten index, SDS sedimentation, and grain hardness. Stepwise linear regression was applied to identify gliadin bands significantly contributing to variation in quality traits. Additionally, Spearman correlation

* **Corresponding Author:** Nasrin Akbari
E-mail: nasrinakbari93@gmail.com

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

coefficients were calculated to assess relationships among gliadin bands and their potential co-inheritance patterns.

Results and Discussion

The results revealed both significant positive and negative correlations among gliadin protein bands, with several pairs such as 6 and 9, 20.5 and 27.5, 29 and 34.5, and 34.5 and 37 showing complete correlation, indicative of block inheritance within specific gene families. Five bands across the ω, γ, β, and α fractions were significantly associated with grain hardness, loaf volume, wet gluten content, and grain weight. Four bands showed significant relationships with protein percentage and hectoliter weight. Six bands were linked to SDS sedimentation volume, gluten index, and moisture absorption. Furthermore, seven bands exhibited significant associations with Zeleny sedimentation value and grain moisture content at the 5% and 1% significance levels, highlighting the predictive potential of gliadin markers for bread-making quality. Strong and significant correlations were also observed between some gliadin protein bands with several traits and several traits with a specific gliadin band. The existence of such relationships is important in breeding programs.

Conclusion

The findings highlighted the dominant contribution of ω- and α-gliadin fragments to key traits underlying bakery quality, underscoring their value in quality assessment. Several gliadin bands showed simultaneous associations with multiple traits, indicating their pleiotropic effects. These alleles therefore represent reliable molecular indicators for identifying superior genotypes. Consequently, they can be effectively integrated into selection strategies aimed at improving bakery quality.

Keywords: A-PAGE, Correlation, Gluten index, Gliadin proteins, Protein markers

تولیدات گیاهی، ۱٤۰۵، ٤۹(۳)، ٤۸۵-٤۹۸
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.50296.2289
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲

تولیدات گیاهی

مقاله پژوهشی

ارتباط نوارهای گلیادین با ویژگی‌های کیفیت نانوایی در ژنوتیپ‌های گندم نان

محمد واحد[۱]، سید سیامک علوی‌کیا[۱]، مصطفی ولیزاده[۱]، نسرین اکبری[۲*]

۱- گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه. ارومیه، ایران

چکیده

در مورد محصول راهبردی مانند گندم، که بخش عمده‌ای از جیرهٔ غذایی جوامع بشری به ویژه در کشورهای در حال توسعه را تشکیل می‌دهد، به‌نژادی برای ویژگی‌های کیفیت نانوایی به‌اندازهٔ به‌نژادی برای عملکرد حائز اهمیت است. در این راستا شناسایی و استفاده از نشانگرهای مولکولی مرتبط با صفات کیفیت نانوایی در انتخاب ژنوتیپ‌های دارای کیفیت بالا سودمند است. پروتئین‌های گلوتنی، یکی از این نشانگرها بوده که مهم‌ترین پروتئین‌های ذخیره‌ای دانهٔ گندم هستند و از دو جز مهم گلیادین و گلوتنین تشکیل شده‌اند. ازآنجاکه انواع آلل‌های پروتئینی گلیادین نشانگرهایی مطمئنی در شناسایی ذخایر توارثی، بررسی تنوع ژنتیکی و ارزیابی کیفیت نانوایی محسوب می‌شوند، این مطالعه برای بررسی این روابط در دانشگاه تبریز، سال ۱۳۹٤ اجرا شد. در این آزمایش، ابتدا الگوی نواری پروتئین گلیادین ٤۰ ژنوتیپ گندم، شامل ۲۸ لاین اینبرد نوترکیب (نسل F_6) به‌همراه والدین (زاگرس و نورستار) و ۱۰ رقم تجاری، با استفاده از الکتروفورز عمودی ژل آکریل‌آمید به روش A-PAGE تعیین شد. برای این منظور از نوار ۵۰ گلیادین گندم مارکوئیس به‌عنوان نشانگر استفاده شد. حضور و عدم‌حضور نوارها به‌ترتیب با کدهای یک و صفر مشخص و امتیازدهی شدند. سپس ارتباط الگوی پروتئین گلیادین (زیرواحدهای ω، γ، β و α) با صفات مرتبط با کیفیت نانوایی به‌روش تجزیه رگرسیون خطی گام‌به‌گام روی صفات وزن هکتولیتر، وزن هزار دانه، درصد پروتئین، عدد زلنی، حجم نان، درصد رطوبت دانه، درصد جذب آب، گلوتن مرطوب و شاخص‌گلوتن، حجم رسوب SDS و سختی دانه تعیین شد. همبستگی اسپیرمن بین نوارهای گلیادین نیز محاسبه شد. نتایج حاصل نشان از وجود روابط مثبت و منفی معنی‌دار بین نوارهای پروتئینی داشت. البته برخی نوارها مانند نوارهای ٦ و ۹، ۲۰/۵ و ۲۷/۵، ۲۹ و ۳٤/۵، و ۳٤/۵ و ۳۷ با یکدیگر همبستگی مستقیم و کامل داشتند (r=1). تعداد پنج نوار پروتئینی از چهار جزء (ω، γ، β و α) تشکیل‌دهندهٔ پروتئین گلیادین با هریک از صفات سختی دانه، حجم نان، گلوتن مرطوب و وزن دانه، چهار نوار پروتئینی با هریک از صفات درصد پروتئین، وزن هکتولیتر، شش نوار پروتئینی با صفات حجم رسوب SDS، شاخص گلوتن و درصد جذب رطوبت و هفت نوار پروتئینی با صفات حجم رسوب زلنی و درصد رطوبت دانه ارتباط معنی‌دار نشان دادند. در این میان فقط صفت حجم رسوب SDS با هر شش نوار پروتئینی ارتباط معنی‌داری نشان داد. نتایج حاکی از نقش برجستهٔ بخش‌های ω و α گلیادین در ارتباط با صفات تعیین‌کنندهٔ کیفیت

نویسنده مسئول: نسرین اکبری
رایانامه: nasrinakbari93@gmail.com

نانوایی بود. با توجه به روابط مشاهده شده میان برخی نوارهای گلیادینی با چندین صفت کیفی، می‌توان از این آلل‌ها جهت گزینش ژنوتیپ‌های دارای کیفیت مطلوب نانوایی استفاده کرد.

کلید واژه‌ها: پروتئین‌های ذخیره‌ای دانه، شاخص گلوتن، نشانگرهای پروتئینی، همبستگی، A-PAGE

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین محصول کشاورزی جهان است و نان حاصل از آن دومین منبع تأمین انرژی و کربوهیدرات در تغذیهٔ انسان است، به گونه‌ای که ۲۰ درصد از کالری مورد مصرف انسان را تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، گندم مهم‌ترین منبع تأمین‌کنندهٔ پروتئین، ویتامین‌ها و مواد معدنی بخش اعظم جمعیت جهان محسوب می‌شود (Zhang *et al.*, 2012; Urade *et al.*, 2018; Mishra *et al.*, 2021). در سال ۲۰۲۳ سطح زیرکشت این محصول در جهان حدود ۲۲۰ میلیون هکتار با تولیدی بالغ بر ۸۰۰ میلیون تن بود (FAO, 2022).

گندم به‌خاطر ویژگی چسبندگی-کشسانی خمیر آن، در تهیه محصولات غذایی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhang *et al.*, 2012). نان مهم‌ترین و عمده‌ترین محصول غذایی تهیه شده از آرد گندم است. در سنجش کیفیت نانوایی آرد گندم، صفات متعددی از جمله حجم نان مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. حجم نان را می‌توان به‌وسیله صفات میزان پروتئین خام و حجم رسوب زلنی با دقت قابل قبولی از طریق مدل‌های رگرسیون خطی پیش‌بینی کرد (Laidig *et al.*, 2018). اگر کیفیت فقط براساس میزان پروتئین خام رتبه‌بندی شود، پیش‌بینی می‌شود، آردهایی با میزان پروتئین مشابه اما ترکیب گلوتنی متفاوت، کیفیت پخت کاملاً متفاوتی نشان ندهند. اماغالباً چنین تفاوت‌های وجود دارد؛ بنابراین باید همیشه علاوه بر کمیت پروتئین، کیفیت پروتئین نیز مدنظر قرار گیرد (Schuster *et al.*, 2023). پروتئین‌های ذخیره‌ای دانه در تعیین کیفیت نانوایی گندم از اهمیت بالایی برخوردارند (Utebayev *et al.*, 2019; Soorninia *et al.*,2022). در این رابطه، نقش ساختار گلوتن، که از دو جزء پروتئین‌های گلیادین و گلوتنین تشکیل شده است در تعیین کیفیت دانه و آرد گندم، بسیار مهم و غیرقابل انکار است (Utebayev *et al.*, 2019). وجود پروتئین‌های گلوتنی باعث می‌شود آرد گندم در مقایسه با سایر غلات منحصربه‌فرد باشد. بنابراین کیفیت این پروتئین‌های خمیرساز با ویژگی‌های خاص، از جنبه‌های مختلف برای محققین حائز اهمیت است (He *et al.*, 2013). از نظر تاریخی، رایج‌ترین نشانگرهای ژنتیکی مورد استفاده برای توصیف و تمایز ژنوتیپ‌های گندم، پروتئین‌های ذخیره‌ای دانه، به‌ویژه گلیادین‌ها هستند (Metakovsky *et al.*, 2024).

کیفیت پروتئین یک ویژگی پیچیده برای تعیین و کمی‌سازی کیفیت نانوایی است و فرض بر این است که استحکام و کشش خمیر در واکنش به گران‌روی و کشش تولید شده توسط گلیادین‌ها و گلوتنین‌ها قرار می‌گیرد (Barak *et al.*, 2013; Soorninia *et al.*, 2022). با این حال، نقش و سهم گلیادین‌ها در عملکرد پخت گندم مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد (Gil-Humanes *et al.*, 2012). گلیادین‌ها در محلول‌های الکلی و در pH پایین حل می‌شوند. آن‌ها اجزای مونومر هستند که یا فاقد پیوندهای دی‌سولفیدی بین زنجیره‌ای یا فقط حاوی پیوندهای درون زنجیره‌ای هستند و عمدتاً به کشش و گران‌روی خمیر کمک می‌کنند (Urade *et al.*, 2018; Marín-Sanz Barro, 2022). مطالعه‌های نشان داده‌اند که گلیادین‌ها در طی تشکیل خمیر به‌عنوان روان‌کننده عمل می‌کنند و موجب افزایش جریان‌پذیری، چسبناکی و قابلیت انبساط خمیر می شوند. خاصیت ارتجاعی و انبساط پذیری دو ویژگی اساسی هستند که در نسبت متعادل، برای دستیابی به

کیفیت مطلوب محصولات گندم مانند نان ضروری هستند (Chaudhary *et al.*, 2022).

در برخی از مطالعه‌ها گلیادین‌ها را در چهار دسته ω، γ، α و β گروه‌بندی می‌کنند (Kasarda *et al.*, 1983). البته مقایسهٔ توالی اسیدهای‌آمینه منتج از توالی DNA نشان داده است که α- و β- گلیادین‌ها توالی‌های مشابهی دارند که منجر به پیشنهاد برای ادغام آن‌ها شد، به‌طوری‌که براساس تحرک پروتئین‌های گلیادین در ژل A-PAGE این پروتئین‌ها به سه دسته ساختاری شامل ω، α/β- و γ گلیادین‌ها تقسیم شدند (Kasarda *et al.*, 1987; Urade *et al.*, 2018; Marín-Sanz Barro, 2022). گلیادین‌ها توسط تعداد قابل توجهی از ژن‌ها مانند *Gli-A1*، *Gli-B1*، *Gli-D1*، *Gli-A2*، *Gli-B2* و *Gli-D2* رمزنگاری می‌شوند که روی بازوهای کوتاه گروه‌های کروموزومی (*A*، *B* و *D*) ۱ و ۶ قرار دارند (Tarekegne and Labuschagne, 2005; Hasrak *et al.*, 2019). مطالعه‌های مشخص کرده‌اند که γ و ω گلیادین‌ها توسط خوشه‌هایی از ژن‌های *Gli-A1*، *Gli-Bl* و *Gli-Dl* که روی بازوهای کوتاه کروموزوم‌های گروه ۱ (*Gli1*) قرار دارند، کنترل می‌شوند. α وβ گلیادین‌ها توسط مکان‌های ژنی *Gli-A2*، *Gli-B2* و *Gli-D2* روی بازوهای کوتاه کروموزوم‌های گروه ۲ (*Gli* 2) کنترل می‌شوند (Payne, 1987). از پلی‌مورفیسم ژنتیکی موجود در مکان‌های ژنی رمزنگار گلیادین‌ها می‌توان در راستای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گندم دارای کیفیت دانه بالا استفاده کرد (Utebayev *et al.*, 2019)، زیرا تقریباً الگوی الکتروفورز گلیادین برای هر رقم منحصربه‌فرد است (Sozinov and Poperelya, 1979; Wrigley *et al.*, 1992). همچنین الگوی گلیادین از ثبات و تکرارپذیری بالایی برخوردار بوده و در واکنش به عوامل محیطی یا رشد دچار تغییر نمی‌شود. بنابراین انواع آلل‌های پروتئین‌های گلیادین هم‌راستا با نشانگرهای DNA به‌عنوان نشانگرهای ژنتیکی کارآمد و قابل‌اعتماد در مطالعه‌های ژنتیکی و شناسایی ژرم‌پلاسم گندم مورد استفاده قرار می‌گیرند (Melnikova *et al.*, 2012; Utebayev *et al.*, 2019). هدف از این مطالعه، شناسایی نوارهای پروتئینی مرتبط با صفات کیفیت نانوایی است تا بتوان به‌واسطهٔ مشاهدهٔ نوارهای مرتبط با صفات کیفیت نانوایی با اطمینان و دقت بالا اقدام به گزینش ارقام با کیفیت نانوایی مطلوب کرد. استفاده از این نشانگرها امکان اجتناب از اجرای آزمایش‌های زمان‌بر، پرهزینه و نیازمند تکرار را فراهم می‌سازد.

مواد و روش

در این مطالعه الگوی نواری پروتئین ذخیره‌ای گلیادین، در ۴۰ ژنوتیپ گندم، شامل ۲۸ لاین اینبرد نوترکیب به‌همراه دو والد (گندم زاگرس و نورستار)، تولید شده در قطب اصلاح مولکولی غلات دانشگاه تبریز و ۱۰ رقم تجاری گندم (جدول ۱) تهیه شده از مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیه نهال بذر مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این منظور از الکتروفورز افقی ژل پلی‌آکریل‌آمید حاوی اسیدلاکتیک با pH = ۳/۱ (A- PAGE) براساس روش لافیندرا و کاساردا (Lafiandra and Kasarda, 1985) استفاده شد. ابتدا از هر نمونه گندم، چهار الی پنج بذر به‌طور تصادفی به‌منظور استخراج پروتئین انتخاب و آرد تهیه شده از آن‌ها با استفاده از غربال ۰/۵ میلی‌متری، الک شدند تا آرد خالص به‌دست آید. در مرحلهٔ بعد به ازای هر ۱۰ میلی‌گرم نمونهٔ آردی، ۱۰۰ میکرولیتر محلول بافر استخراج شامل ۳/۹ میلی‌لیتر دی‌متیل‌فرمآمید (DMF)، ۲/۵ گرم ساکاروز و ۳ میلی‌گرم متیل ویوله که با آب مقطر به حجم ۱۲/۵ میلی‌لیتر رسانده شده بود، به داخل هر میکروتیوب، اضافه شد. سپس، نمونه‌ها به مدت یک ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند و طی این مدت هر ۱۵ دقیقه یک‌بار توسط ورتکس، به‌خوبی همگن شدند. در مرحلهٔ بعد جهت جداسازی پروتئین گلیادین از سانتریفیوژ ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد استفاده شد. سپس پروتئین‌های گلیادین که به‌صورت مایع شفاف رویی، قابل‌مشاهده هستند با دقت و به‌وسیله سمپلر به میکروتیوب دیگر منتقل و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

جهت الکتروفورز از ژل آکریل‌آمید عمودی (A-PAGE) حاوی اسیدلاکتیک با pH = ۳/۱ که براساس روش لافیاندر و کاسارد با کمی تغییر در حجم مواد تهیه شده بود استفاده شد (Lafiandra and Kasarda, 1985). به این منظور، ژلی با ابعاد ۲× ۱۳۰×۱۶۰ میلی‌متر تهیه و ۱۲ میکرولیتر از عصارهٔ پروتئینی استخراج شده توسط سمپلر در هر چاهک ژل الکتروفورز تزریق گردید. الگوی گلیادین لاین‌ها و ارقام تجاری مورد مطالعه با استفاده از روش بوشاک و زلمن (Bushuk and Zillman, 1978) تهیه شد. تانک الکتروفوز به مدت ۲/۵ ساعت به دستگاه مولد نیروی برق با شدت جریان ثابت ۳۰ میلی‌آمپر وصل شد. رنگ‌آمیزی ژل برای ظهور باندهای پروتئین به مدت ۱۲ ساعت با استفاده از محلول رنگ‌آمیزی که از ترکیب دو محلول الف (حاوی ۰/۵ گرم آبی‌کوماسی در ۱۲۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد) و محلول ب (شامل، ۱۵ گرم TCA در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر) تهیه شد استفاده گردید. محلول نهایی رنگ‌آمیزی شامل ۱۵ میلی‌لیتر از محلول الف با کل محلول ب بود. جهت رنگ‌بری و مشاهدهٔ بهتر نوارهای پروتئینی، ژل در داخل آب مقطر به مدت ۶ ساعت رنگ‌بری شد.

صفات کیفیت نانوایی، شامل وزن هکتولیتر، وزن هزار دانه، درصد پروتئین دانه، عددزلنی، حجم نان، درصد رطوبت دانه، سختی دانه و درصد جذب آب، گلوتن مرطوب و شاخص گلوتن، حجم رسوب SDS مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت سنجش صفات درصد پروتئین، عددزلنی، حجم نان، درصد رطوبت دانه، سختی دانه و درصد جذب آب از دستگاه NIR[۱] استفاده شد. به این منظور ۲۰ گرم آرد کامل تهیه شده توسط آسیاب چکشی در محفظه دستگاه قرار داده شد و ارزش صفات فوق برای هر واحد آزمایشی تعیین گردید. جهت اندازه‌گیری گلوتن مرطوب و شاخص گلوتن از دستگاه گلوتن شور اتوماتیک دوقلو استفاده شد. در این راستا ابتدا ۱۰ گرم آرد توزین و داخل محفظه مخصوص قرار داده شد. جهت حذف نشاسته و سبوس، ۸/۴ سی‌سی محلول آب‌نمک یا محلول شستشو (نمک طعام ۲ درصد به‌همراه فسفات سدیم و فسفات کلسیم) استفاده شد. در دو دقیقه اول نشاسته حذف شد و سپس، جهت حذف سبوس نسبت به تعویض و نصب الک مخصوص شستن سبوس اقدام شد. بدین ترتیب گلوتن عاری از سبوس پس از پنج دقیقه حاصل شد. خمیر حاصل توزین و وزن گلوتن مرطوب برای هر نمونه به‌دست‌آمد. با سانتریفیوژ کردن خمیر فوق به مدت یک دقیقه در ۶۰۰۰ دور در دقیقه و برمبنای عبور گلوتن از روی توری با منافذ ۸۸ میکرومتر، فاکتورهای شاخص گلوتن و خاصیت کشسانی به‌دست‌آمد. گلوتن رو و زیر توری به‌طور مجزا با کاردک برداشته و توزین گردید. با تقسیم گلوتن روی توری به گلوتن کل، شاخص گلوتن به‌دست‌آمد. برای تعیین حجم رسوب SDS ابتدا یک گرم آرد کامل تهیه شده توسط آسیاب UDY توزین و به لوله آزمایش درب‌دار انتقال داده شد. سپس چهار سی‌سی آب مقطر به آن افزوده و لوله آزمایش چهار دقیقه ورتکس و به مدت پنج دقیقه به‌حال استراحت قرار داده شد. دوباره ورتکس چهاردقیقه‌ای انجام و پس از مدت پنج دقیقه استراحت، ۱۲ سی‌سی از محلول تهیه شده به‌همراه ۷ میلی‌لیتر اسیدلاکتیک ۹۰ درصد و ۲۴۰ سی‌سی SDS به لولهٔ آزمایش اضافه گردید. لوله‌ها پنج بار سروته شدند و در پایهٔ مدرج مخصوص به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند تا میزان رسوب برحسب میلی‌متر قرائت و ثبت گردد. برای تعیین ارتباط صفات مذکور به‌عنوان متغیرهای وابسته با نوارهای گلیادین به‌عنوان متغیرهای مستقل از تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام با روش ریج[۲] استفاده شد.

۱ Near-Infrared Reflectance Spectroscopy

۲ Ridge Regression method

جدول ۱- ۲۸ لاین اینبرد نوترکیب مورد مطالعه، همراه با والدینشان و ۱۰ رقم تجاری

Table 1. The studied 28 recombinant inbred lines, associated with their parents and 10 commercial cultivars

Commercial cultivars	Recombinant inbred lines		
Gascojen	11	114	267
Hirmand	17	139	271
Zarin	44	140	277
Inia	49	141	287
Navid	50	142	
Omid	51	155	
Sardari	55	156	
Sabalan	60	205	
Roshan	83	218	
Bezostaya	89	220	
Zagros *	97	231	
Norestar *	99	262	

* والدین

* The parents

نتایج و بحث

سختی دانه

سختی دانه نشان‌دهندهٔ میزان تراکم و فشردگی لایه‌های مختلف آندوسپرم دانه است که نحوه و کیفیت خرد شدن آندوسپرم را تعیین می‌کند. معمولاً آرد حاصل از گندم سخت، به‌دلیل داشتن پروتئین بیشتر و گلوتن با کیفیت‌تر برای تولید نان مناسب‌تر است (Norouzdokht-Nokhandan *et al.*, 2017). در مطالعهٔ حاضر صفت سختی دانه با سه نوار پروتئینی ۹۰، ۸۵ و ۷۸ از بخش α -گلیادین به‌ترتیب در سطوح احتمال پنج، یک و یک دهم درصد، رابطهٔ معنی‌دار نشان داد. نوارهای پروتئینی ۵۶/۵ از بخش β -گلیادین در سطح احتمال یک درصد و نوار پروتئینی ۱۵ از بخش ω -گلیادین در سطح احتمال پنج درصد نیز رابطهٔ معنی‌داری با صفت سختی دانه نشان دادند (جدول ۲). نوارهای ω و α -گلیادین مذکور رابطهٔ مثبت ولی β -گلیادین رابطهٔ منفی با سختی دانه نشان دادند. این نتایج بیانگر کنترل سختی دانه توسط ژن‌ها مرتبط با هر دو گروه ژن‌های *GLI-1* و *GLI-2* می‌باشد (جدول ۲). در این رابطه، در مطالعه‌ای بر روی صفات مرتبط با کیفیت نانوایی گندم، میانگین شاخص سختی دانه در ژنوتیپ‌های واجد و فاقد نوار ۴۸ گلیادین به‌ترتیب برابر با ۴۶ و ۴۹ گزارش شد. همچنین ژنوتیپ‌های دارای نوار ۴ گلیادین داری بیشترین شاخص سختی دانه بودند (Badakhshan, 2001).

حجم نان

نوارهای ω -گلیادین ۹، ۱۲/۵ و ۳۷/۵ با حجم نان رابطه معنی‌دار در سطوح احتمال یک درصد و یک دهم درصد نشان دادند (جدول ۲). که در این میان دو نوار ۹ و ۳۷/۵ رابطهٔ مثبت و نوار پروتئینی ۱۲/۵ رابطهٔ منفی معنی‌دار با حجم نان داشتند. همچنین، نوارهای پروتئینی ۹۰ و ۸۹ از بخش α –گلیادین به‌ترتیب در سطوح احتمال یک درصد و پنج درصد رابطه مثبت و منفی معنی‌داری با حجم نان داشتند. بدخشان (Badakhshan, 2001) بیشترین مقدار حجم نان را در ژنوتیپ‌های دارای نوار ۶۶ گلیادین گزارش کرد. اهمیت بخش α در ارتباط باکیفیت نانوایی و حجم نان به‌واسطهٔ خاموشی بیان α –گلیادین‌ها در گندم نان بررسی شده است. این امر منجر به کاهش ۶۳ درصدی در میزان α –گلیادین‌ها شد که در نتیجه، استحکام خمیر افزایش یافت، اما حجم نان کاهش یافت

(Wieser *et al.*, 2007). همچنین در مطالعه ای دیگر گزارش شد که افزایش گلیادین کل و زیرگروه‌های آن به‌طور قابل توجهی سبب افزایش حجم قرص نان‌های قالبی می شود و به‌طور ویژه ω-گلیادین‌ها نقش مهمی در افزایش حجم قرص نان ایفا می کند (Khatkar *et al.*, 2002).

حجم رسوب زلنی و SDS

صفت حجم رسوب زلنی، میزان ذرات معلق رسوب کرده در سوسپانسیون اسیدی آب-آرد را نشان می‌دهد که با میزان گلوتن رابطهٔ مثبت دارد (Zeleny, 1947). این صفت با نوارهای پروتئینی ۱۲/۵، ۳۰، ۳۶/۵ ω -گلیادین و نوارهای ۶۹ و ۷۹ به‌ترتیب از بخش‌های β و α –گلیادین رابطهٔ منفی معنی‌دار و با دو نوار پروتئینی ۱۳ و ۲۱ ω -گلیادین رابطهٔ مثبت معنی‌دار نشان داد (جدول ۲). بدخشان (Badakhshan, 2001) بیشترین مقدار حجم رسوب زلنی را در ژنوتیپ‌های دارای نوار ۶۶ گلیادین گزارش کرد. در این مطالعه هیچ‌یک از نوارهای بخش γ-گلیادین با حجم رسوب زلنی رابطه‌ای نشان ندادند. همسو با این نتیجه، در گزارشی خاموش شدن ژن‌های γ -گلیادین باعث افزایش کمی، در حجم رسوب SDS و زلنی شد (Gil-Humanes *et al.*, 2010).

حجم رسوب SDS نیز میزان رسوب ذرات کلوئیدی از طریق سدیم دودسیل سولفات را در سوسپانسیون آب-آرد نشان می‌دهد (Axford *et al.*, 1979). نتایج نشان از وجود رابطهٔ مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بین نوار پروتئینی ۸۹ α – گلیادین با حجم رسوب SDS داشت (جدول ۲). کاراتیگر و همکاران (Karatigger *et al.*, 1996) نیز در مطالعهٔ خود به وجود اثر معنی‌دار ژن‌های مکان *GLI- 2* که آلفا و بتا گلیادین‌ها را رمز می‌کنند با حجم رسوب SDS اشاره کرده‌اند. دو نوار γ – گلیادین ۴۲ و ۴۷ رابطهٔ مثبت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و نوارهای پروتئینی ۲۵، ۲۸/۵ و ۳۰ از بخش ω -گلیادین رابطهٔ منفی معنی‌دار با صفت فوق نشان دادند. در مطالعهٔ مشابهی همبستگی مثبت نوارهای ω۴ گلیادین و ۴۴، ۴۷ و ۴۹ γ گلیادین و رابطهٔ منفی نوار پروتئینی ۴۸ γ باکیفیت نانوایی گزارش شده است (Badakhshan, 2001).

درصد پروتئین کل دانه، گلوتن مرطوب و شاخص گلوتن

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت نانوایی میزان و کیفیت پروتئین‌های آندوسپرم دانه گندم است. درواقع پروتئین‌ها به‌عنوان مهم‌ترین اجزای کنترل‌کنندهٔ کیفیت نانوایی شناخته شده‌اند و داشتن پروتئین بالاتر اغلب با کیفیت نانوایی بهتر همراه می‌باشد. البته تغییرات در کمیت پروتئین به‌تنهایی نمی‌تواند تنوع موجود در ارقام گندم را از نظر کیفیت نانوایی توجیه کند. بلکه عوامل دیگری نظیر کیفیت پروتئین‌ها در این امر دخالت دارند (Payan, 1998). در این تحقیق درصد پروتئین کل دانه با نوارهای پروتئینی ۶، ۱۲/۵ و ۲۶/۵ ω -گلیادین رابطهٔ منفی و با نوار ۸۹ از بخش α -گلیادین‌ها رابطهٔ مثبت معنی‌دار نشان داد. نوارهای پروتئینی دوبخش β و γ –گلیادین رابطهٔ معنی‌داری با درصد پروتئین نشان ندادند. قابل‌ذکر است اکثر نوارهای بخش ω –گلیادین رابطهٔ منفی با درصد پروتئین داشتند. رابطهٔ مثبت درصد پروتئین با نوار ۸۹ بخش α-گلیادین نشان از اهمیت بیشتر این بخش در رابطه با صفت فوق به‌ویژه در بحث گزینش است (جدول ۲). بدخشان (Badakhshan, 2001) بیشترین مقدار درصد پروتئین در ژنوتیپ‌های دارای نوار ۶۶ گلیادین را گزارش کرد.

میزان گلوتن مرطوب به‌عنوان یکی از شاخص‌های سختی دانهٔ گندم و قوی بودن آرد حاصل از آن در نظر گرفته می‌شود (He *et al.*, 2013). در بخش ω -گلیادین نوار پروتئینی ۱۲/۵ و ۳۶/۵ رابطهٔ منفی در سطح یک درصد و نوار ۳۵ رابطهٔ مثبت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با گلوتن مرطوب نشان دادند.

نوارهای ۷۹ و ۸۵ α -گلیادین به‌ترتیب رابطه منفی و مثبت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد با گلوتن مرطوب نشان دادند (جدول ۲).

شاخص گلوتن نشان‌دهندهٔ کیفیت گلوتن مرطوب می‌باشد (Barak *et al.*, 2013). در تحقیق حاضر این ویژگی با نوارهای پروتئینی ۱/۵ و ۶۴/۵ به‌ترتیب از ω و β -گلیادین‌ها رابطهٔمثبت و نوارهای ۱۶/۵ و ۳۸ از ω -گلیادین‌ها و ۴۸/۵ و ۵۳/۵ از γ -گلیادین‌ها رابطهٔ منفی معنی‌دار نشان داد. شاخص گلوتن با هیچ‌کدام از نوارهای پروتئینی بخش α رابطهٔ معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

وزن هکتولیتر دانه

ماهیّت صفت وزن هکتولیتر در این است که میزان تراکم آندوسپرم و پرمغزی آن را نشان می‌دهد؛ به‌طوری که گندم‌های دارای شکل و اندازهٔ مشابه می‌توانند در وزن هکتولیتر متفاوت باشند و وزن هکتولیتر بالاتر نشان از مرغوبیت گندم دارد (Bahnia, 1997; Cauvain *et al.*, 2001). وزن هکتولیتر با نوارهای ۳۸، ۴۲، ۵۸ و ۸۵ به‌ترتیب مربرط به‌بخش‌های ω، γ، β و α رابطهٔ معنی‌دار نشان داد، که در این میان نوار ۴۲ γ -گلیادین رابطه مثبت با وزن هکتولیتر داشت (جدول ۲). وزن دانه با نوار پروتئینی ۳۴ ω گلیادین رابطهٔ منفی معنی‌دار و با نوارهای ۴۳/۵ و ۶۴/۵ به‌ترتیب از γ و β گلیادین‌ها و دو نوار ۷۸ و ۹۵ از بخش α رابطهٔ مثبت معنی‌دار نشان داد (جدول ۲).

رطوبت دانه و درصد جذب رطوبت

مقدار رطوبت دانه یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت دانه گندم است؛ زیرا هرچه رطوبت دانه کمتر باشد کیفیت و قابلیت نگهداری دانه افزایش می‌یابد. رطوبت دانه با نوارهای پروتئینی ۱۲/۵ و ۳۶ ω-گلیادین رابطه منفی و با دو نوار ۱۳ و ۳۹ ω-گلیادین رابطه مثبت معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و یک دهم درصد داشت. همچنین نوارهای پروتئینی ۴۷ γ -گلیادین و ۷۶/۵ و ۷۸ α -گلیادین رابطه مثبت معنی‌دار با رطوبت دانه نشان دادند (جدول ۲).

یکی از صفاتی که براساس آن می‌توان به درجهٔ سختی گندم پی‌برد، درصد جذب رطوبت می‌باشد. هرچه درجهٔ سختی گندم بالاتر باشد، درصد جذب رطوبت در دانه کمتر خواهد بود. صفت درصد جذب رطوبت با نوارهای پروتئینی ۱/۵، ۱۲/۵ و ۳۶ از بخش ω-گلیادین رابطه مثبت و نوار ۳۷/۵ و ۳۹ آن بخش رابطه منفی معنی‌دار نشان داد. این صفت با نوارهای پروتئینی ۷۸، ۸۵ و ۹۵ α-گلیادین نیز رابطه منفی معنی‌دار داشت. هیچ نواری از دو بخش γ و β رابطه معنی‌دار با این صفت نشان نداد (جدول ۲). بدخشان (Badakhshan, 2001) میزان جذب آب را در ژنوتیپ‌های دارای نوار ۴۸ گلیادین کمتر از دیگر نوارها گزارش کرد.

براساس پژوهش حاضر، نوار گلیادینی ۴۵ که مرتبط با قدرت بالای گلوتن گزارش شده است (Kosmolak *et al.*, 1980). در الگوی الکتروفورزی هیچ‌یک از لاین‌های مورد مطالعه این نوار مشاهده نشد، که با توجه به عدم وجود آن در والدین، کاملاً منطقی به‌نظر می‌رسد. با این وجود، دو رقم بزوستیا و اینیا دارای این نوار مرتبط با کیفیت بودند. عدم مشاهدهٔ نوار ۴۵ در لاین‌ها بدون شک نشان دهندهٔ نامطلوب بودن آن‌ها نیست، زیرا برای کیفیت نانوایی علاوه بر حضور این نوار، نسبت گلیادین به گلوتنین و همچنین حضور برخی نوارهای مهم گلوتنین نیز اهمیت دارد. کیفیت پخت نان در واکنش به ژن‌های گلوتن و تعادل بین بیان آن‌ها قرار دارد، از این‌رو، مطالعه و مقایسهٔ همه ژن‌های گلوتن و عناصر تنظیم‌کنندهٔ آن‌ها به‌طور هم‌زمان برای یک تحقیق جامع ضروری است (Hasrak *et al.*, 2019). چنانچه اکبری و همکاران (Akbari, *et al.*, 2017) نیز در بررسی کیفت نانوایی براساس الگوی باند گلوتنین، بیان داشتند یک باند خاصی که دارای ارتباط

با تمام صفات مرتبط با کیفیت نانوایی باشد گزارش نشده است؛ چراکه حضور توأم برخی آلل‌ها خاص در سه مکان ژنی A، B و D با توجه به آثار بین مکان‌های ژنی ملاکی بر کیفیت نانوایی مطلوب رقم دارنده می‌باشد. البته به‌نظر می‌رسد الگوی آللی (باندهای پروتئینی پیوسته) و روابط بین آلل‌های مکان ژنی مختلف مرتبط با کیفیت نانوایی را در ارزیابی کیفیت بیشتر باید ملاک قرار داد تا حضور باند خاصی؛ زیرا با توجه به ارتباط مشاهده شده بین گلیادین و برخی گلوتنین‌ها چنین ارزیابی‌های کمک بهتری در انتخاب ارقام مطلوب از نظر کیفیت نانوایی خواهد داشت. زیرا ارتباط، ژن‌های زیرواحد گلوتنین سبک (LMW) با برخی از ژن‌های گلیادین مزید بر علت بوده و تفسیر آثار گلیادین بر کیفیت را پیچیده می‌سازد (Payne *et al.*, 1987). چنانچه در مطالعه ارتباط بین نوارهای گلوتنین و گلیادین با برخی صفات کیفیت نانوایی نتایج نشان داد نوار دارای تحرک ۰/۱۳گلیادین تفاوت قابل توجهی را در حضور سه الگوی گلوتنین (۱۰، ۷+۸، ۱؛ ۱۲، ۷+۸، n و ۱۰+۵، ۷+۸، n) از نظر میزان پروتئین آرد ایجاد نمی‌کند، درحالی‌که نوار گلیادین با تحرک ۰/۲۳ اثر منفی برروی میزان پروتئین آرد نشان می‌دهد. نوار با تحرک ۰/۲۸ نیز اثر مثبت قابل توجهی در حضور الگوی ۱۰، ۷+۸، ۱ گلوتنین با میزان پروتئین آرد دارد. نوار گلیادین با تحرک ۰/۲۵ اثر مثبت بر شاخص گلوتن داشت. دو نوار گلیادین با تحرک ۰/۳۲ و ۰/۳۵ با الگوی ۱۰، ۷+۸، ۱ گلوتنین رابطه معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نشان دادند (Wu *et al.*, 2009). همچنین بررسی رابطه بین باندهای گلیادین با برخی صفات مهم مورفولوژیک دانه، مانند رنگ دانه، وزن دانه، رطوبت دانه، وزن هکتولیتر و سختی دانه اهمیت دارد؛ زیرا این صفات با کیفیت نانوایی، انبارداری، افزایش درصد جوانه‌زنی و تولید گیاهچه قوی مرتبط هستند. نتایج حاکی از نقش بیشتر بخش ω و α گلیادین در صفات مورد بررسی بود. زیرا که تعداد بیشتری از باندهای بخش‌های فوق با صفات مورد بررسی ارتباط نشان دادند. همچنین بین برخی باندها در این بخش‌ها با چندین صفت و برخی صفات با چندین نوار پروتئینی ارتباط مشاهده شد که بیانگر وجود روابط پلی‌ژنی و پلی‌تروپی است. البته نقش γ -گلیادین‌ها در کیفیت نان‌سازی آرد مهم ارزیابی شده است (Gil-Humanes *et al.*, 2012). این امر می‌تواند با حضور باند ۴۵ که باکیفیت بالای نانوایی مرتبط است در ارتباط باشد.

دربین نوارهای پروتئینی ۹ نوارپروتئینی شامل نوارهای پروتئینی ۱/۵، ۱۲/۵، ۱۳، ۳۰، ۳۶، ۳۶/۵، ۳۷/۵، ۳۸ و ۳۹ با چندین صفت ارتباط معنی‌دار نشان دادند.

نتایج همبستگی اسپیرمن بین نوارهای گلیادین وجود ارتباط مثبت و منفی معنی‌دار در بین نوارها را نشان داد. در این میان بین برخی نوارها مانند نوارهای ۶ و ۹، نوارهای ۲۰/۵ و ۲۷/۵، نوارهای ۲۹ و ۳۴/۵ و نوارهای ۳۴/۵ و ۳۷ همبستگی کامل وجود داشت درواقع نوارهای ۲۹، ۳۴/۵ و ۳۷ یا باندهای یک بلوک ژنی هستند یا نوارهای ۲۹ و ۳۴/۵ محصول خردشدگی نوار ۳۷ هستند.

جدول ۲- رابطه بین باندهای گلیادین و ویژگی‌های دانه

Table 2. Relationship between gliadin bands and grain characterstics

Dependent variable	R^2	ω		γ		β		α	
		band	SPRC	band	SPRC	band	SPRC	band	SPRC
Grain moisture	0.776	12.5	-0.977**	47	0.885**	-	-	76.5	0.922**
		13	0.504**					78	0.571**
		36	-0.285*						
		39	1.187***						
Hectoliter weight	0.845	38	-7.167*	42	1.195*	58	-2.162**	85	-7.167*
1000 Seed weight	0.603	34	-4.263**	43.5	4.961*	64.5	2.945**	78	4.290**
								95	4.411*
Grain hardness	0.717	15	3.295*			56.5	-2.115**	78	4.172***
								85	5.055**
								90	3.126*
Bread volume	0.790	9	33.453**					89	-41.026*
		12.5	-77.471***					90	49.564**
		37.5	89.268***						
SDS volume	0.584	25	-4.307**	42	4.122**			89	12.060**
		28.5	-8.341**	47	8.609**				
		30	-5.169**						
Wet gluten percentage	0.672	12.5	-5.568**					79	-2.405**
		35	2.019*					85	4.674**
		36.5	-4.741**						
Zeleny volume	0.730	12.5	-5.546***			69	-1.159**	79	-1.357*
		13	1.500*						
		21	1.294*						
		30	-1.159*						
		36.5	-2.678**						
Protein percentage	0.529	6	-0.706*					89	1.127*
		12.5	-1.522**						
		26.5	-0.633*						
Gluten index	0.700	1.5	12.949*	48.5	-8.008*	64.5	6.644*		
		16.5	-10.575**	53.5	-16.707*				
		38	-20.225*						
Moisture absorption percentage	0.854	1.5	0.258*					78	-0.252*
		12.5	0.634***					85	-0.94**
		36	0.119*					95	-0.352**
		37.5	-0.642***						
		39	-0.402***						

R^2: ضریب تعیین

SPRC: ضریب رگرسیون جزئی استاندارد

*سطح معنی‌داری ۵ درصد، ** سطح معنی‌داری یک درصد، *** سطح معنی‌داری۰/۱ درصد

R^2: Coefficient of determination

SPRC: Standardized partial regression coefficient

* level significance %5, ** level significance %1, ***level significance %0/1

نتیجه‌گیری

با توجه به ارتباطات مشاهده شده بین صفات و برخی نوارهای پروتئینی گلیادین و همچنین نوارهایی که با چندین صفت رابطه نشان دادند، استفاده از این نوارها در برنامه گزینشی برای بهبود کیفیت نانوایی توصیه می‌شود مورد بررسی قرار گیرد. براین اساس ژنوتیپ‌های دارای نوار ۱۲/۵ به‌دلیل ارتباط منفی معنی‌داری که با غالب صفات مرتبط با کیفیت نشان داده است، فاقد ارزش به‌نژادی از نظر کیفیت نانوایی بوده و حذف می‌شوند. برخی نوارهای پروتئین گلیادین مانند نوار ۱۳ از بخش ω گلیادین، ۹۰ از بخش α گلیادین‌های ۴۲ و ۴۷ از بخش γ گلیادین با چند صفت رابطهٔ مثبت معنی‌دار نشان دادند؛ همچنین برخی نوارهای پروتئینی گلیادین مشاهده شدند که با چند صفت ارتباط مثبت و با برخی دیگر ارتباط منفی معنی‌دار داشتند؛ مانند ۱۲/۵، ۳۶، ۳۷/۵ و ۳۹ از بخش ω گلیادین، و ۷۸، ۸۵ و ۸۹ از بخش α گلیادین‌ها. بنابراین در انتخاب براساس نوارهای گلیادینی برای کیفیت نانوایی لازم است علاوه بر ارتباط مثبت و منفی نوار پروتئینی با صفات، ارتباط متقابل صفات با یکدیگر و نیز با کیفیت نانوایی مد نظر قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از جناب دکتر محمد مقدم و دکتر سید ابوالقاسم محمدی بابت مساعدت و در اختیار قراردادن لاین‌های گندم مورد بررسی تشکر و قدردانی می‌گردد.

Reference

Akbari, N., Alavi Kia, S.S., Majid Norozi, M., & Valizadeh, M. (2017). Relationship between HMW-GS bands and bread making quality traits in recombinant inbred lines derived from a cross between Zagros and Norstar wheat varieties. *Cereal Research*, 7(2), 185-194. https://doi.org/10.22124/c.2017.2545 [In Persian].

Axford, D.W.E., McDermott, E.E., & Redman, D.G. (1979). Note the sodium dodecyl sulfate test of bread-making quality; comparison with Pleshnke and Zeleny tests. *Cereal Chemistry*, 56, 582-584.

Badakhshan, H. (2001). Investigation of grain gliadins in autumn wheats of the northwest of the country and their relationship with bakery quality. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Iran. [In Persian].

Bahnia, M.R. (1997). Cold grain cereals. Publication Institute of Ferdowsi University of Mashhad, first edition. [In Persian].

Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 211-217. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.011.

Bushuk, W., & Zillman, R.R. (1978). Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. I. Apparatus, method and nomenclatuie. *Canadian Journal of Plant Science*, 58(2), 505-515. https://doi.org/10.4141/cjps78-076

Cauvain, S.P. (2001). Bread making, In: cereal processing technology Owens, G, (ed) Improving Quality. Woodhead Publishing Limited Cambridge England. PP. 204-230.

Chaudhary, N., Singh Virdi, A., Dangi, P., Singh Khatkar, B., Kumar Mohanty, A., & Singh, N. (2022). Protein, thermal and functional properties of α-, γ- and ω-gliadins of wheat and their effect on bread making characteristics. *Food Hydrocolloids*, 124, Part (A). https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107212

FAO (2022). https://www.fao.org/faostat/en/#home.

Gil-Humanes, J., Pistón, F., Tollefsen, S., Sollid, L.M., & Barro, F. (2010). Effective shutdown in the expression of celiac disease-related wheat gliadin T-cell epitopes by RNA interference. *Proceedings of*

the National Academy of Sciences of the United States of America, 107(39), 17023e17028. https://doi.org/10.1073/pnas.1007773107

Gil-Humanes, J., Pistón, F., Rosell, C.M., & Barro. F. (2012). Significant down-regulation of g-gliadins has minor effect on gluten and starch properties of bread wheat. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 161-170. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.02.009

Hasrak, S., Lohrasebi, T., Bagheri, A., Shariati, V., Marashi, H., & Razavi, K. (2019). A study to assess the role of gluten encoded genes and their regulatory elements in bread making quality of wheat. *Iranian Journal of Biotechnology*, 17(4), e2164. https://doi.org/10.30498/ijb.2019.82861

He, J., Penson, S., Powers, S.J., Hawes, C., Shewry, P.R., & Tosi, P. (2013). Spatial patterns of gluten protein and polymer distribution in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(26), 6207-6215. https://doi.org/10.1021/jf401623d.

Karatigger, A.F., Payne, P.I., & Law, C.N. (1996). Effects of homoeologous group 1 and 6 chromosomesof the cappelle- desprez (*Bezostaya 1*) substitution lines on aspects of bread-making quality of Wheat. *Euphytica*, 89(1), 17-25.

Kasarda, D.D, Autran, J.C, Lew, E.J.L, Nimmo, C.C., & Shewry, P.R. (1983). N-terminal amino acid sequences of ω-gliadins and ω-secalins: Implications for the evolution of prolamin genes. *Biochimica et Biophysica Acta*, 747(1-2), 138–150. https://doi.org/10.1016/0167-4838(83)90132-2.

Kasarda, D.D., Adalstein, A.E., & Laird, N.F. (1987). γ-Gliadins with α-type structure coded on chromosome 6B of the wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar 'Chinese spring'. In: Lásztity R, Békés F (eds) Proc. 3rd Int. workshop on gluten proteins. World Scientific Publishing, *Singapore*, pp. 20–29.

Khatkar, B.S., Fido, R.J., Tatham, A.S., & Schofield, J.D. (2002). Functional properties of wheat gliadins. I. effects on mixing characteristics and bread making quality. *Journal of Cereal Science*, 35(3), 299–306. https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0429.

Kosmolak, F.G., Dexter, J.E., Matsuo, R.R., Leisle, D., & Marchylo, B.A. (1980). A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophorgram. *Canadian Journal of Plant Science*, 60(2), 427-432. https://doi.org/10.4141/cjps80-064

Lafiandra, D., & Kasarda, D.D. (1985). One and two-dimentional. (two-ph) polyacrilamid gel electrophoresis in single gel: Separation of wheat proteins. *Cereal Chemistry*, 62(5), 314-319.

Laidig, F., Piepho, H.-P., Hüsken, A., Begemann, J., Rentel, D., Drobek, T., & Meyer, U. (2018). Predicting loaf volume for winter wheat by linear regression models based on protein concentration and sedimentation value using samples from VCU trials and mills. *Journal of Cereal Science*, 84, 132–141. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.015.

Marín-Sanz, M., & Barro, F. (2022). RNAi silencing of wheat gliadins alters the network of transcription factors that regulate the synthesis of seed storage proteins toward maintaining grain protein levels. *Frontiers in Plant Science*, 13, 935851. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.935851.

Metakovsky, E., Melnik, V.A., Pascual, L., & Wrigley, C.W. (2024). How important are genetic diversity and cultivar uniformity in wheat? the case of gliadins. *Genes*, 15(7), 927. https://doi.org/10.3390/genes15070927

Melnikova, N.V., Kudryavtseva, A.V., & Kudryavtsev, A.M. (2012). Catalogue of alleles of gliadin-coding loci in durum wheat (*Triticum durum Desf.*). *Biochimie*, 94(2), 551-557. https://doi.org/10.1016/j.biochi.2011.09.004.

Mishra, D., Shekhar, S., Chakraborty, S., & Chakraborty, N. (2021). High temperature stress responses and wheat impacts and alleviation strategies. *Environmental and Experimental Botany*. 190, 104589. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104589.

Norouzdokht-Nokhandan, S., Izanloo, A., Zabet, M., & Ghaderi, M.G. (2017). Identification of alleles affecting the grain hardness in different bread wheat cultivars using molecular markers. *Journal of Crop Breeding*, 9(21), 122-129. [In Persian].

Payne, P.I. (1987). Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variations on breadmaking quality. *Annual Review of Plant Physiology*, 38, 141-153.

Payan, R. (1998). An Introduction to the technology of cereal products. Novardasan Publications. Iran. [In Persian].

Schuster, C., Huen, J., & Scherf, K.A. (2023). Comprehensive study on gluten composition and baking quality of winter wheat. *Cereal Chemistry*, 100(1), 142-155. https://doi.org/ 10.1002/cche.10606.

Sozinov, A.A., & Poperelya, F.A. (1979). Prolamin polymorphism and plant breeding, *Building Agriculture Science*, 10, 21-34. [In Russian].

Soornինia, F., Najaphy, A., Kahrizi, D., Mostafaie, A., & Mehrabi, A.A. (2022). Investigation of seed storage proteins diversity in some durum wheat landraces and cultivars.45(3), 385-396. https://doi.org/10.22055/ppd.2022.39915.2012 [In Persian].

Tarekegne, A., & Labuschagne, M.T. (2005). Relationship between high molecular weight glutenin subunit composition and gluten quality in Ethiopian-grown bread durum wheat cultivars and lines. *Journal Agronomy and Crop Science*, 191(4), 300-307. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00147.x

Urade, R., Sato, N., & Sugiyama, M. (2018). Gliadins from wheat grain: an overview, from primary structure to nanostructures of aggregates. *Biophysical Reviews*, 10(2), 435–443. https://doi.org/10.1007/s12551-017-0367-2.

Utebayev, M., Dashkevich, S., Bome, N., Bulatova, K., & Shavrukov, Y. (2019). Genetic diversity of gliadin-coding alleles in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan. *PeerJ*, 7:e7082 https://doi.org/10.7717/peerj.7082.

Wieser, H., Koehler, P., Folck, A., & Becker, D. (2007). Characterization of wheat with strongly reduced a-gliadin content. In: Lookhart, G.L., Ng, P.K.W. (Eds.), Gluten Proteins. AACC, St Paul, MN, pp. 13-16.

Wrigley, C.W., Autran, J.C., & Bushuk, W. (1992). Identification of cereal varieties by gel electrophoresis of the grain proteins. *Cereal Science and Technology*, 5, 211-259.

Wu, X.I., Lan, X.j., Wei, Y.M., Pu, Z.E., & Zheng, Y.l. (2009). Quality evaluation of gliadins from zhengmai 9023x99E18 in wheat. *Journal of Plant Sciences*, 4(1), 1-9. https://doi.org/10.3923/jps.2009.1.9

Zeleny, L. (1947). A simple sedimentation test for estimating the bread-making and gluten qualities of wheat flour. *Cereal Chemistry*, 24(6), 465-475.

Zhang, X., Jin, H., Zhang, Y., Liu, D., Li, G., Xia, X., He, Z., & Zhang, A. (2012). Composition and functional analysis of low-molecular-weight glutenin alleles with Aroona near-isogenic lines of bread wheat. *BMC Plant Biology*, 12(1), 243. https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-243.