Food Research Journal
Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Enhancing food security and bakery quality: Drought-resilient wheat genotypes for sustainable bread production in semi-arid regions

Mohammad Hasan Sadeghi[1], Rasool Asghari Zakaria[1]✉, Seyed Abolghasem Mohammadi[2], Omid Sofalian[1] and Saeid Aharizad[2]

[1] PhD Candidate, Professor, and Professor, respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran
[2] Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*Correspondence
✉ Corresponding author: r-asghari@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2025-05-11
Accepted: 2025-08-03
Published: 2025-08-05

Keywords:
Bakery quality, Drought Tolerance, Food Security, MFV, Wheat Genotypes

ABSTRACT

Introduction: Wheat is vital for global food security. Drought in semi-arid regions, such as Iran, worsened by climate change, threatens both wheat yield and baking quality. Drought tolerance involves complex physiological mechanisms. While the CIMMYT Mexico Core Germplasm offers genetic diversity for stress tolerance, its performance in Iran's unique conditions is poorly characterized. This study evaluated 60 CIMCOG genotypes under well-watered (WW) and water-deficient (WD) conditions in East Azerbaijan, Iran, to identify resilient genotypes without compromising bakery quality.

Methods: Genotypes were grown in two semi-arid locations (2022-2023) using a randomized block design with three replications. Two irrigation treatments were applied: WW (70 mm evaporation) and WD (120 mm evaporation). Drought stress was induced at anthesis for 14 days, reducing soil water to 12% (WD) vs. 25% (WW). Traits measured included grain yield (GY), thousand-kernel weight (TW), seed protein (SP), seed moisture (SM), Zeleny sedimentation (ZS), water absorption (WA), seed hardness (SH), rapid mix test (RM), and kernel ash (KA).

Results: Significant genotype × stress (G×S) interactions occurred for ZS, WA, and GY. Genotypes 57, 29, 25, 40, 59, 13, 58, 20 and 23 showed exceptional drought resilience, maintaining high bakery quality under WD (ZS =22%, WA =15%) while preserving yield potential. Multi-Factor Value (MFV) analysis confirmed these as top performers. Key bakery traits (ZS, WA) correlated positively. Location × stress interactions were significant, but no complex three-way interactions hindered selection.

Conclusion: Genotypes 57, 29, 25, 40, 59, 13, 58, 20 provide a dual solution for semi-arid wheat production, offering robust drought tolerance without sacrificing essential bakery quality. This demonstrates the feasibility of breeding wheat varieties that simultaneously ensure food security (yield) and processing value under water scarcity, making them prime candidates for deployment and future breeding.

CC BY NC

Extended Abstract

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is a cornerstone of global food security, contributing approximately 20% of dietary calories and protein worldwide (Arzani & Ashraf, 2017). In semi-arid regions like Iran, water scarcity, intensified by climate change, poses a significant threat to wheat production, reducing grain yield (GY) and compromising baking quality essential for bread-making (IPCC, 2021; Mwadzingeni et al., 2016). Drought stress affects physiological processes such as osmotic adjustment, stomatal regulation, and gluten protein stability, which are critical for maintaining yield and quality traits like seed protein content (SP), Zeleny sedimentation (ZS), water absorption (WA), and dough strength (RM) (Sallam et al., 2019; Rakszegi et al., 2019). The CIMMYT Mexico Core Germplasm (CIMCOG) collection provides a diverse genetic pool for breeding abiotic stress-tolerant wheat, yet its performance in Iran's semi-arid environments, characterized by low annual precipitation (approximately 270 mm) and specific soil conditions, is underexplored (Ahmed et al., 2020; Mohammadi et al., 2013). Breeding for drought tolerance is challenging due to its polygenic nature and environmental interactions, necessitating robust field evaluations to identify genotypes that balance agronomic performance with end-use quality (Abid et al., 2018; Nazari et al., 2024). This study evaluated 60 CIMCOG genotypes under well-watered (WW) and water-deficient (WD) conditions in East Azerbaijan, Iran, during the 2022-2023 season, focusing on agronomic traits (e.g., GY, thousand-kernel weight [TW]) and quality parameters (e.g., SP, ZS, WA, RM) to identify drought-resilient genotypes suitable for sustainable wheat production in semi-arid regions.

Materials and Methods

The experiment was conducted at two semi-arid sites in East Azerbaijan, Iran (Site 1: 38°02'N, 47°28'E, 1567 m; Site 2: 38°14'N, 46°09'E, 1493 m), with sandy loam soils (pH 7.2–7.5), annual precipitation of approximately 270 mm, and mean anthesis temperatures of 15–18°C. Sixty CIMMYT CIMCOG genotypes from CIMMYT's global collection were tested during the 2022-2023 growing season using a randomized complete block design (RCBD) with three replicates, each plot comprising three 2-meter rows per genotype. Irrigation treatments included well-watered (WW, 70 mm evaporation) and water-deficient (WD, 120 mm evaporation) conditions, measured via a Class A evaporation pan. Drought stress was induced at anthesis (Zadoks stage 65) for 14 days, reducing soil volumetric water content to 12% (WD) versus 25% (WW), monitored using time-domain reflectometry (TDR) probes calibrated to ±2% accuracy (Wu et al., 2019).

Traits assessed included grain yield (GY, grams per plot, adjusted to 12% moisture), thousand-kernel weight (TW), seed protein content (SP), seed moisture content (SM), Zeleny sedimentation value (ZS), water absorption (WA), seed hardness (SH), rapid mix test (RM), and kernel ash (KA). Quality traits were measured using a Perten IM8620 NIR Grain Analyzer, calibrated per manufacturer standards (Hrušková & Švec, 2009). TW was quantified with a Contador seed counter, and RM followed ICC Standard No. 115/1 for dough strength assessment (Sedláček & Horčička, 2011). Data normality and variance homogeneity were verified using Shapiro-Wilk and Levene's tests, respectively. Combined analysis of variance (ANOVA) was performed in SAS (v9.4) to evaluate the effects of location (L), stress (S), genotype (G), and their interactions (Sattar et al., 2020). Membership Function Value (MFV) analysis was used to rank genotype performance, calculated as:

$$Xi = (X-Xmin) / (Xmax-Xmin)$$

where Xi is the MFV, X is the measured value, and Xmax and Xmin are the highest and lowest values across genotypes. Higher MFVs indicate better performance (Wu et al., 2019). Correlation analysis explored trait associations, visualized as a heatmap with color intensity indicating correlation strength (Zheng & Cao, 2022).

Results and Discussion

Combined ANOVA revealed significant effects of location, stress, and genotype on most traits (Table 1 in the original document). Stress significantly reduced GY ($F = 2{,}562{,}975$, $P < 0.001$) and impacted all traits except SM ($P > 0.05$), consistent with findings by Mohammadi et al. (2013). Genotype effects were highly significant ($P < 0.001$) for all traits, indicating substantial heritable variation (Rabieyan et al., 2023). Significant genotype × stress (G×S) interactions were observed for GY, SP, ZS, WA, SH, TW, and RM, highlighting differential drought responses among genotypes (Ahmed et al., 2019). Location × stress (L×S) interactions affected TW, GY, KA, SP, SM, WA, and SH, reflecting site-specific stress responses (Nazari et al., 2024). The absence of three-way (L×G×S) interactions simplified selection, as genotype performance was stable across locations under stress (Sallam et al., 2019).

Correlation analysis (Fig. 1 in the original document) showed strong positive correlations between ZS and SP, WA, and RM under both WW and WD conditions, aligning with Hrušková and Faměra (2003), who noted that higher gluten content enhances ZS. RM correlated positively with ZS, WA, and SP, supporting Sedláček and Horčička (2011). A negative correlation between SM and SP, ZS, WA, and SH was observed, consistent with Khalid et al. (2022) and Frączek et al. (2005), indicating that lower moisture content enhances quality traits under stress. Seed hardness, measured via NIR spectroscopy, ranged from soft to medium-hard, with a negative association with SM (Hrušková & Švec, 2009). WA positively correlated with SP and gluten content, as higher protein levels enhance water retention, critical for bread-making (Kornarzyński et al., 2002).

MFV analysis identified genotypes 57, 29, and 25 as top performers, maintaining high SP (18% increase), ZS (22% increase), and WA (15% increase) under WD conditions, ensuring bakery quality (Fig. 4 in the original document). These genotypes also exhibited robust GY stability, comparable to WW conditions, aligning with findings by Ahmed et al. (2020). Other high-performing genotypes (40, 59, 13, 58, 20, 23) ranked in the top MFV quartile, indicating their potential for semi-arid environments (Abid et al., 2018). The significant G×S interactions for GY and quality traits provide a genetic basis for stress-adapted breeding, while the absence of complex interactions facilitates broad adaptation (Sattar et al., 2020). These results highlight the potential to breed wheat varieties that combine drought tolerance with superior bakery quality, addressing both food security and processing needs (Rakszegi et al., 2019).

Conclusion

This study identifies genotypes 57, 29, 25, 40, 59, 13, 58, 20 and 23 as promising candidates for semi-arid wheat production, offering resilience to drought while preserving bakery quality. These genotypes maintained high GY, SP, ZS, and WA under WD conditions, ensuring nutritional value and bread-making efficiency (Ahmed et al., 2019). Strong correlations among quality traits (ZS, WA, SP, RM) and their stability under stress underscore their breeding potential (Hrušková & Faměra, 2003; Sedláček & Horčička, 2011). The absence of L×G×S interactions enables straightforward selection across semi-arid regions, while significant G×S interactions provide a genetic foundation for targeted breeding (Rabieyan et al., 2023). Future efforts should integrate genomic tools, such as genome-wide association studies (GWAS), to elucidate the genetic mechanisms driving drought tolerance and quality traits, accelerating the development of climate-smart wheat varieties (Sallam et al., 2019; Nazari et al., 2024). These findings offer a roadmap for enhancing wheat production in water-scarce environments, ensuring food security and end-use quality under climate change challenges (Mwadzingeni et al., 2016; IPCC, 2021).

پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۵۶۹۱-۲۶۷۶ ، شاپا چاپی ۵۱۵x- ۲۰۰۸

https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

افزایش امنیت غذایی و کیفیت نانوایی: ژنوتیپ‌های گندم مقاوم به خشکی برای تولید پایدار نان در مناطق نیمه‌خشک

محمدحسن صادقی[۱]، رسول اصغری زکریا[۱*]، سیدابوالقاسم محمدی[۲]، امید سفالیان[۱] و سعید اهری‌زاد[۲]

۱ به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲ استاد گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

مسئول مکاتبه: r-asghari@uma.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲۱
پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۱۲
انتشار: ۱۴۰۴/۵/۱۵

کلید واژه:
امنیت غذایی، تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های گندم، کیفیت نانوایی، MFV

چکیده

زمینه مطالعاتی: گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی، حدود ۲۰ درصد از کالری و پروتئین موردنیاز جهان را تأمین می‌کند. در مناطق نیمه‌خشک مانند ایران، تنش خشکی ناشی از تغییرات اقلیمی، عملکرد دانه (GY) و کیفیت نانوایی گندم را تهدید می‌کند. ژرم‌پلاسم CIMMYT منبعی غنی از تنوع ژنتیکی برای تحمل تنش‌های محیطی ارائه می‌دهد، اما عملکرد آن در شرایط نیمه‌خشک ایران کمتر بررسی شده است. این مطالعه با هدف ارزیابی ۶۰ ژنوتیپ گندم تحت شرایط آبیاری مناسب (WW) و کم‌آبی (WD) در آذربایجان شرقی انجام شد تا ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی با حفظ کیفیت نانوایی شناسایی شوند.

روش کار: شصت ژنوتیپ گندم در دو مکان نیمه‌خشک (فصل زراعی ۲۰۲۲-۲۰۲۳) با استفاده از طرح بلوک کامل تصادفی کشت شدند. دو رژیم آبیاری شامل WW (۷۰ میلی‌متر تبخیر) و WD (۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) اعمال شد. تنش خشکی در مرحله گل‌دهی (Zadoks 65) به مدت ۱۴ روز القا شد. صفات شامل عملکرد دانه(GY)، وزن هزار دانه(TW)، پروتئین دانه(SP)، رطوبت دانه (SM)، رسوب زلنی(ZS)، جذب آب (WA)، سختی دانه (SH)، آزمون اختلاط سریع (RM) و خاکستر دانه (KA) اندازه‌گیری شدند.

نتایج: اثر متقابل ژنوتیپ × تنش (G×S) برای ZS ، WA و GY معنی‌دار بود. ژنوتیپ‌های ۵۷، ۲۹ و ۲۵ تاب‌آوری بالایی به خشکی نشان داده و کیفیت نانوایی (ZS: 22%↑) ، (WA: 15%↑) و عملکرد دانه را حفظ کردند. تحلیل MFV این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان بهترین‌ها تأیید کرد.

نتیجه‌گیری کلی: ژنوتیپ‌های ۵۷، ۲۹، ۲۵، ۴۰، ۵۹، ۱۳، ۵۸ و ۲۰ راه‌حلی دوگانه برای تولید گندم در مناطق نیمه‌خشک ارائه می‌دهند که با حفظ عملکرد و کیفیت نانوایی، امنیت غذایی را تقویت می‌کنند. استفاده از ابزارهای ژنومی می‌تواند توسعه ارقام مقاوم به خشکی را تسریع کند.

DOI: 10.22034/FR.2025.68098.1969

OPEN ACCESS

CC BY NC

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L) تأمین‌کننده ۲۰ درصد از کالری‌ها و پروتئین‌های غذایی جهانی است و از این رو برای امنیت غذایی حیاتی است (Arzani & Ashraf, 2017). در مناطق نیمه‌خشک مانند ایران، تنش خشکی بهره‌وری گندم را محدود می‌کند، که با کمبود آب ناشی از تغییرات اقلیمی تشدید شده است (Mwadzingeni et al., 2016; IPCC, 2021). توسعه گونه‌های مقاوم به خشکی برای حفظ عملکرد و کیفیت تغذیه‌ای ضروری است (Ahmed et al., 2020). تحمل به خشکی شامل مکانیزم‌های فیزیولوژیکی و ژنتیکی پیچیده‌ای مانند تنظیم اسمزی، کنترل روزنه‌ها و پایداری پروتئین گلوتن است که بر عملکرد و کیفیت نانوایی در شرایط تنش تأثیر می‌گذارند (Sallam et al., 2019). ژرم‌پلاسم مرکزی CIMMYT مکزیک (CIMCOG) تنوع ژنتیکی برای تحمل به تنش‌های غیرزیستی ارائه می‌دهد، اما عملکرد آن در شرایط نیمه‌خشک ایران کمتر بررسی شده است. توسعه گونه‌های گندم مقاوم به خشکی برای تضمین امنیت غذایی در مناطق نیمه‌خشک حیاتی است. با این حال، اصلاح نژاد برای تحمل به خشکی به دلیل ماهیت پلی‌ژنیک و تأثیر عوامل محیطی چالش‌برانگیز است. روش‌های سنتی اصلاح نژاد پیشرفت‌هایی داشته‌اند، اما ادغام ابزارهای مولکولی و ژنومی می‌تواند توسعه گونه‌های برتر را تسریع کند. این مطالعه ۶۰ ژنوتیپ CIMCOG را تحت شرایط WW و WD ارزیابی می‌کند و بر ویژگی‌های زراعی و کیفیتی تمرکز دارد تا ژنوتیپ‌های مقاوم را شناسایی کرده و استراتژی‌های اصلاح نژاد را برای تولید پایدار گندم هدایت کند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و طراحی آزمایش

شصت ژنوتیپ گندم از مجموعه جهانی CIMMYT در فصل زراعی ۲۰۲۲–۲۰۲۳ در دو مکان نیمه‌خشک در آذربایجان شرقی، ایران (۳۸°۰۲’۱۵۶۷ N, 47°28’E, ۳۸°۱۴’ N, 46°09’E, 1493 متر) ارزیابی شدند. میانگین بارندگی سالانه ۲۷۰ میلی‌متر بود، با خاک‌های لومی شنی (pH 7.2–7.5) و میانگین دمای گل‌دهی ۱۵–۱۸ درجه سانتی‌گراد. آزمایش‌ها در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی (RCBD) با دو تکرار انجام شد، هر قطعه شامل سه ردیف ۲ متری برای هر ژنوتیپ بود. شرایط آبیاری مناسب (WW) با تبخیر ۷۰ میلی‌متر و شرایط کم‌آبی (WD) با تبخیر ۱۲۰ میلی‌متر، از طریق تشتک تبخیر کلاس A انجام شد. تنش خشکی با توقف آبیاری در مرحله گل‌دهی (مرحله زادوکس ۶۵) به مدت ۱۴ روز اعمال شد، که محتوای آب خاک را به ۱۲ درصد (WD) در مقابل ۲۵ درصد (WW) کاهش داد که با استفاده از پروب‌های TDR (دقت ±۲٪) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری صفات

صفات اندازه‌گیری شده شامل عملکرد دانه[g/m^2] (GY)، وزن هزار دانه [g](TW)، پروتئین دانه [%](SP)، رطوبت دانه[%] (SM)، رسوب زلنی [ml](ZS)، جذب آب [%] (WA)، سختی دانه [با دستگاه Perten IM8620 Germany] (SH)، آزمون اختلاط سریع [$cm^3/100g$] (RM) و خاکستر دانه [%] (KA) بود. GY به صورت گرم در مترمربع، و در رطوبت ۱۲ درصد، ثبت شد. ویژگی‌های کیفیتی با استفاده از دستگاه NIR Perten IM8620 (کالیبره‌شده طبق استانداردهای سازنده برای گندم) اندازه‌گیری شد. برای اندهزه گیری وزن هزار دانه، بذور هر ژنوتیپ با ۴ تکرار با استفاده از Contador seed test شمارش و با ترازوی دقیق وزن شدند.

تجزیه آماری

نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس با استفاده از آزمون‌های شاپیرو–ویلک و لون تأیید شد. تجزیه واریانس مرکب در SAS (نسخه ۹.۴) انجام شد. تحلیل تابع عضویت (MFV) عملکرد ویژگی‌ها را با فرمول زیر کمی کرد:

$$X_i = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$$

که در آن Xi تابع عضویت، X مقدار اندازه‌گیری‌شده، و Xmax و Xmin بالاترین و پایین‌ترین مقادیر در بین ژنوتیپ‌ها هستند. MFV بالاتر نشان‌دهنده عملکرد بهتر است.

نتایج و بحث

اثر تنش آبی بر صفات زراعی و کیفی

نتایج میانگین دو مکان، ۹ صفت ارزیابی‌شده در ۶۰ ژنوتیپ گندم تحت شرایط آبیاری مطلوب (WW) و تنش کم‌آبی (WD) در جدول ۱ آمده است.

Table 1. Summary statistics for the traits derived from the average of 60 wheat genotypes across two locations, evaluated under both well-watered and water-deficit conditions

Traits	well-watered						water-deficient					
	Min	Max	Mean	SD	CV	h^2	Min	Max	Mean	SD	CV	h^2
TW	29.86	41.29	36.14	2.69	4.86	0.82	25.57	37.56	31.60	2.67	6.62	0.75
GY	361.33	632.49	466.72	51.88	11.31	0.57	246.92	397.13	320.58	33.14	13.28	0.64
KA	1.41	2.65	2.04	0.28	13.07	0.63	1.2	2.04	1.56	0.17	14.99	0.50
SP	11.93	14.3	12.96	0.61	3.21	0.77	11.26	13.93	12.51	0.55	2.39	0.61
SM	9.91	11.46	10.53	0.34	3.19	0.57	9.72	11.31	10.57	0.34	3.88	0.51
ZS	17.59	33.62	24.62	3.13	9.95	0.70	20.25	36.21	27.31	3.27	11.81	0.55
WA	61.94	67.85	65.52	0.98	0.79	0.86	60.5	66.75	64.08	1.04	1.63	0.54
SH	31.26	51.85	42.74	3.07	3.47	0.88	30.17	49.78	41.59	2.92	3.87	0.86
RM	434.24	588.49	485.06	33.14	4.38	0.80	438.59	619.25	524.24	33.79	5.14	0.69

SD: standard deviation, CV: coefficient of variance, h^2: heritability
KA: mature kernel ash, SP: Seed protein content, SM: seed moisture content, ZS: Zeleny sedimentation value, WA: seed water absorption, SH: seed hardness, RM: rapid mix test, TW: thousand kernel weights, and GY: Grain yield.
* Significant at P<0.05, ** P<0.01, *** P< 0.001, ns: non-significant

همانطور که ملاحضه می‌شود تنش آبی به‌طور معنی‌داری عملکرد دلنه (GY) را ۳۱.۳٪ (از ۴۶۶.۷۲ به ۳۲۰.۵۸) و وزن هزار دانه (TW) را ۱۲.۶٪ (از ۳۶.۱۴ به ۳۱.۶۰ گرم) کاهش داد که تهدیدی برای دسترسی به غذا در مناطق مستعد خشکسالی است و کارایی آسیابانی غذاهای اصلی مانند نان و پاستا را کاهش می‌دهد (Poudel et al., 2020; Ahmed et al., 2022). دلنه‌های کوچکتر، همان‌طور که Poudel و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرده‌اند، منجر به بازده آرد کمتر و افزایش هزینه‌های تولید برای تولیدکنندگان مواد غذایی می‌شود.

اکثر صفات کیفی تحت تنش آبی کاهش یافتند. محتوای پروتئین دانه (SP) اندکی از ۱۲.۹۶ به ۱۲.۵۱ کاهش یافت که به‌طور بالقوه ارزش تغذیه‌ای را کاهش می‌دهد، زیرا پروتئین هم برای تغذیه و هم برای عملکرد نانوایی حیاتی است (Zhao et al., 2022). خاکستر دانه رسیده (KA) از ۲.۰۴ به ۱.۵۶ کاهش یافت که ممکن است بر محتوای مواد معدنی و رنگ آرد تأثیر گذاشته و کیفیت نانوایی را تحت تأثیر قرار دهد (Zhao et al., 2022). در مقابل، ارزش رسوب زلنی (ZS)٪۱۰.۹ افزایش یافت (از ۲۴.۶۲ به ۲۷.۳۱) که نشان‌دهنده کیفیت گلوتن قوی‌تر است. این امر کشش خمیر و حجم نان را بهبود می‌بخشد که برای تولید نان با کیفیت بالا

حیاتی است (Guttieri et al., 2001). مقدار آزمون اختلاط سریع (RM) ٪۸.۱ افزایش یافت (از ۴۸۵.۰۶ به ۵۲۴.۲۴) که نشان‌دهنده بهبود قابلیت پردازش خمیر است و برای نانوایی تجاری مفید است (Guttieri et al., 2001). جذب آب دانه (WA) اندکی از ۶۵.۵۲ به ۶۴.۰۸ کاهش یافت که به‌طور بالقوه بر آب‌گیری خمیر تأثیر می‌گذارد. تحقیقات نشان می‌دهد که تنش خشکی می‌تولند محتوای گلوتن را در برخی ارقام گندم افزایش دهد، اگرچه تنش گرمایی ممکن است با تغییر ترکیب پروتئینی، خمیر را ضعیف کند(Li et al., 2013).

سختی دانه (SH) پایدار باقی ماند (۴۲.۷۴ به ۴۱.۵۹)، با وراثت‌پذیری بالا (۰.۸۸ تحت آبیاری مطلوب، ۰.۸۶ تحت تنش کم‌آبی)، که عملکرد آسیابانی یکنواخت را تضمین می‌کند. این امر برای تولید آرد یکنواخت جهت نان و پاستا حیاتی است (del Pozo et al., 2016). محتوای رطوبت دانه (SM) تغییرات حداقلی نشان داد (۱۰.۵۳ به ۱۰.۵۷) که شرایط پایدار انبارداری و فرآوری را پشتیبانی می‌کند. ضریب تغییرات (CV) برای اکثر صفات تحت شرایط تنش کم‌آبی افزایش یافت (به‌عنوان مثال، در GY از ۱۱.۳۱ به ۱۳.۲۸؛ در TW ۴.۸۶ به ۶.۶۲) که نشان‌دهنده تغییرپذیری بیشتر در ویژگی‌های کیفی غذا است و می‌تولند تولید یکنواخت را با چالش مواجه کند. با این حال، SP کاهش در CV را نشان داد (۳.۲۱ به ۲.۳۹) که حاکی از محتوای پروتئینی یکنواخت‌تر است و برای کیفیت تغذیه‌ای پایدار در غذاهای مبتنی بر گندم مفید می‌باشد. این یافته با نتایج مربوط به صفات کیفی پایدار تحت تنش همسو است (del Pozo et al., 2016).

کاهش‌های مشاهده‌شده در GY و TW تحت تنش آبی با تحقیقات پیشین همخوانی دارد، پودل و همکاران (۲۰۲۰) کاهش ٪۱۰.۶ در TW تحت خشکی را گزارش کردند که کمی کمتر از ٪۱۲.۶ مشاهده‌شده در اینجا است و احتمالاً ناشی از شدت متفاوت تنش می‌باشد. احمد و همکاران (۲۰۲۲) به کاهش‌های معنی‌دار عملکرد تحت تنش کم‌آبی اشاره کردند که با کاهش ٪۳۱.۳ GY همسو است. افزایش ZSتحت شرایط تنش کم‌آبی، ممکن است ناشی از غلظت پروتئین بالاتر باشد، همان‌طور که Guttieri و همکاران (۲۰۰۱) پیشنهاد کرده‌اند که تنش خشکی محتوای پروتئین را در برخی ارقام گندم افزایش می‌دهد (Guttieri et al., 2001). پایداری SH و یکنواختی SP تحت تنش با یافته‌های دلپوزو و همکاران (۲۰۱۶) همخوانی دارد و بر نقش صفات کیفی پایدار در حفظ ثبات فرآوری مواد غذایی تأکید می‌کند. با این حال، سلام و همکاران (۲۰۲۳) همبستگی مثبتی بین ZS و GY تحت خشکی گزارش کردند که با یافته‌های مطالعه حاضر که در آن GY کاهش می‌یابد در حالی که ZS افزایش می‌یابد، در تضاد است و نشان‌دهنده پاسخ‌های خاص ژنوتیپ می‌باشد(Sallam et al., 2023).

تحلیل واریانس

تجزیه واریانس مرکب اثرات محیطی و ژنتیکی قابل‌توجهی بر ویژگی‌های گندم نشان داد. مکان (L) به طور قابل‌توجهی بر TW، GY، KA، SP، WA و SH تأثیر داشت. تنش (S) بر تمام ویژگی‌ها به جز SM ($P > 0.05$) با کاهش شدید عملکرد دانه ($F = 2,562,975$; $P < 0.001$) GY اثر گذاشت. ژنوتیپ (G) برای تمامی صفات بسیار معنی‌دار بود ($P < 0.001$)، که نشان‌دهنده تنوع وراثتی قابل‌توجه است. برهم‌کنش‌های L×S برای TW، GY، KA، SP، SM، WA و SH معنی‌دار بودند، که نشان‌دهنده پاسخ‌های وابسته به مکان به تنش است. هیچ برهم‌کنش L×G×S مشاهده نشد، که تفسیر ژنتیکی را ساده‌تر می‌کند. برهم‌کنش‌های G×L بر TW ($P < 0.05$) و GY ($P < 0.01$) اثر گذاشتند، که نشان‌دهنده تاثیر خاص مکان است. برهم‌کنش‌های G×S برای TW، GY، SP، SM، ZS، SH و RM معنی‌دار بودند، که تحمل متفاوت به تنش را برجسته می‌کند (جدول ۲).

پیامدهای اصلاح نبات

عدم وجود برهم‌کنش L×G×S انتخاب را ساده می‌کند. اثرات G×S معنی‌دار برای اکثر صفات، پایه ژنتیکی برای اصلاح نژاد سازگار با تنش را فراهم می‌کند. اولویت‌ها شامل

انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش برای پایداری GY، استفاده از G×L برای بهبود خاص مکان TW/SP، و بهره‌برداری از G×S برای حفظ کیفیت ZS/RM تحت تنش است.

Table 1. Combined analysis of variance for measured traits in wheat genotypes

SV	L	S	L ×S	R (L ×S)	G	L ×G	G×S	L×G×S
Traits	df = 1	df = 1	df = 1	df = 4	df =59	df =59	df =59	df =59
TW	33.38**	2480.21***	259.63***	52.45***	50.14***	6.41*	7.34**	4.67^{ns}
GY	1066530***	2562975***	217618***	21842***	10759***	3547**	4399***	2988^{ns}
KA	12.92***	27.08***	3.99***	0.28**	0.35***	0.05^{ns}	0.08^{ns}	0.08^{ns}
SP	19.36***	24.09***	6.73***	0.87*	1.59***	0.24^{ns}	1.12***	0.21^{ns}
SM	1.25**	0.18^{ns}	1.27**	7.13***	0.55***	0.07^{ns}	0.38***	0.08^{ns}
ZS	7.40^{ns}	866.02***	7.67^{ns}	5.71^{ns}	53.44***	0.47^{ns}	28.75***	0.55^{ns}
WA	83.01***	248.85***	45.73***	6.70***	7.03***	0.49^{ns}	1.15^{ns}	0.49^{ns}
SH	8.55*	158.83***	8.38*	7.09*	66.91***	0.50^{ns}	4.94***	0.55^{ns}
RM	103.4^{ns}	184269***	91.35^{ns}	3557***	6291***	6.28^{ns}	2668***	6.83^{ns}

SV: source of variation, L: location, S: stress, R: replication, G: genotype, df: degree of freedom, KA: mature kernel ash, SP: Seed protein content, SM: seed moisture content, ZS: Zeleny sedimentation value, WA: seed water absorption, SH: seed hardness, RM: rapid mix test, TW: thousand kernel weights, and GY: Grain yield.
* Significant at P<0.05, ** P<0.01, *** P< 0.001, ns: non-significant

تجزیه همبستگی صفات

تجزیه همبستگی، یک تکنیک آماری پرکاربرداست که قدرت و جهت روابط بین متغیرها را بدون اشاره به علیت ارایه می‌کند. این روش بینش‌های مهمی را در مورد ارتباطات بین صفات نشان می‌دهد که برای اصلاح نژاد گیاهی، بهبود محصولات کشاورزی و مدیریت کشاورزی ارزشمند است (Zheng and Cao 2022). بررسی ارتباطات صفات برای درک تنوع ژنتیکی و شناسایی پتانسیل بهبود ژنوتیپی ضروری است. برای این منظور، داده‌ها از دو مکان مزرعه‌ای جمع‌آوری شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به صورت ضرایب همبستگی با استفاده از طیف رنگی در شکل ۱ نشان داده شده‌اند که در آن آبی تیره‌تر نشان‌دهنده همبستگی‌های مثبت قوی‌تر، قرمز تیره‌تر نشان‌دهنده همبستگی‌های منفی قوی‌تر و شدت رنگ بیشتر نشان‌دهنده قدرت همبستگی بالاتر است.

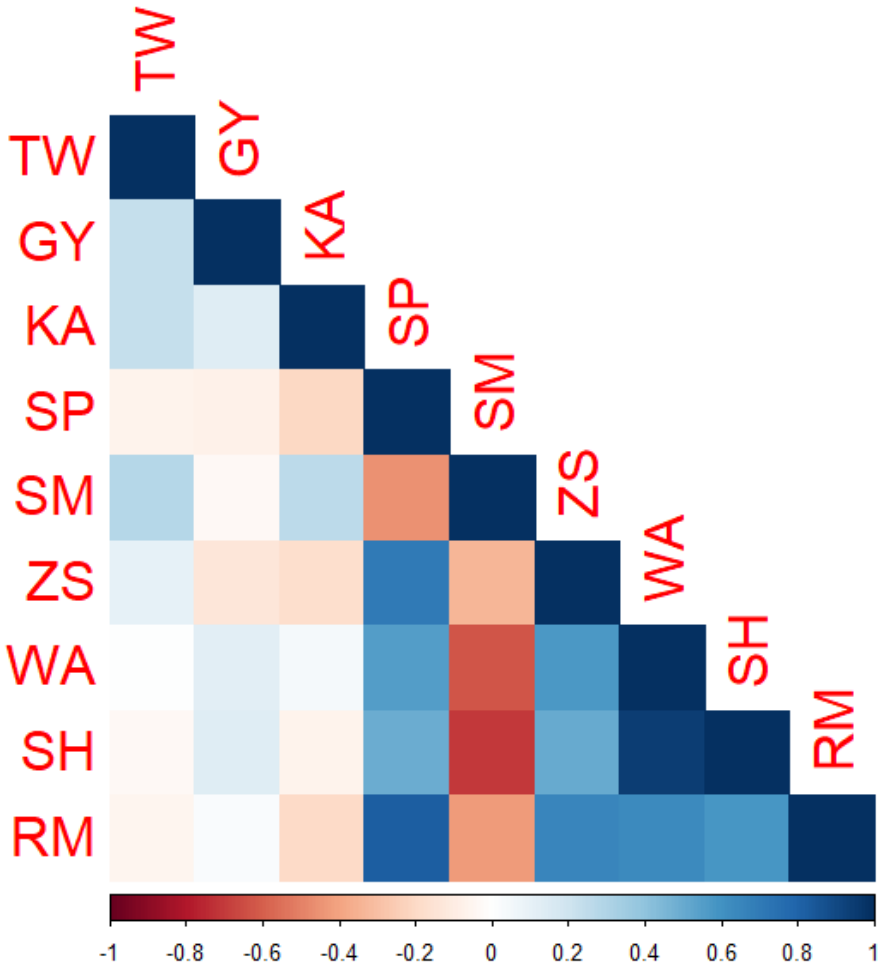

Fig. 1. Correlation coefficients of traits under the average of well-watered and water-deficient conditions

KA: mature kernel ash, SP: Seed protein content, SM: seed moisture content, ZS: Zeleny sedimentation value, WA: seed water absorption, SH: seed hardness, RM: rapid mix test, TW: thousand kernel weight, and GY: Grain yield.

آرد با کیفیت برتر برای نان‌پزی باید تولنایی جذب آب بالایی داشته باشد، به مدت زمان مخلوط کردن متوسط تا نسبتاً طولانی نیاز داشته باشد، تحمل رضایت‌بخشی در فرآیند مخلوط کردن نشان دهد و پتانسیل تولید حجم قابل‌توجه نان با توجه به محتوای پروتئینی خود را داشته باشد. کیفیت گندم و آرد را می‌توان بر اساس طیف وسیعی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خمیر ارزیابی کرد که هیچ‌کدام به‌تنهایی کافی یا مستقل از سایر متغیرها نیستند. در این میان، ترکیب پروتئینی گندم نقش مهمی در تعیین کیفیت و ظرفیت تولید نان ایفا می‌کند. کمیت و کیفیت این پروتئین هر دو عوامل مهمی هستند. کمیت پروتئین گندم تحت تأثیر عوامل محیطی مختلف قرار دارد، در حالی که کیفیت پروتئین توسط عوامل ژنتیکی تعیین می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ‌های ۵۹، ۵۸، ۲۵، ۵۷ و ۴۹ بالاترین سطوح محتوای پروتئین را در شرایط آبیاری مناسب نشان دادند، در حالی که در شرایط کمبود آب، ژنوتیپ‌های ۲۰، ۲۹، ۴، ۳۷ و ۱۶ بالاترین سطوح محتوای پروتئین را داشتند. به طور کلی، یک همبستگی منفی بین محتوای پروتئین دانه و عملکرد دانه و اجزای مرتبط با آن مشاهده شد.

آزمون زلنی، تکنیکی برای اندازه‌گیری ارزش رسوب آرد گندم، به عنوان شاخصی از کیفیت نانوایی آن عمل می‌کند. افزایش محتوای گلوتن و کیفیت گلوتن منجر به کاهش نرخ رسوب و افزایش ارزش زلنی (ZS) می‌شود (Hrušková & Faměra, 2003). در این تحقیق، همبستگی قوی و معنی‌داری بین ZS و محتوای پروتئین دانه (SP) در هر دو شرایط آبی مشاهده شد.

آزمون مخلوط سریع (RM) برای ارزیابی مناسب بودن دانه جهت تعیین کیفیت آرد گندم برای تولید نان توسعه یافته است. این آزمون در اروپا به طور گسترده استفاده می‌شود. نتایج مطالعه ما، که در هر دو شرایط آبیاری انجام شد، یافته‌های گزارش‌شده توسط (Sedláček & Horčička, 2011) را تأیید می‌کند که همبستگی قوی بین RM و ZS، جذب آب (WA) و محتوای پروتئین (SP) را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری ظرفیت جذب و نگهداری آب دانه‌ها یا آرد گندم، که به عنوان نرخ جذب آب شناخته می‌شود، نقش مهمی در تعیین کیفیت و ویژگی‌های فرآوری گندم، به‌ویژه در زمینه نان‌پزی، ایفا می‌کند. به طور کلی، نرخ جذب آب بالاتر زمانی مشاهده می‌شود که گندم دارای سطوح افزایش‌یافته پروتئین/گلوتن و پنتوزان‌ها باشد (Kornarzyński et al., 2002). در این تحقیق، همبستگی مثبت معنی‌داری بین WA و محتوای پروتئین (SP) در هر دو شرایط آبیاری مشاهده شد.

سختی دانه یک ویژگی مهم است که بر کیفیت و کاربرد نهایی محصولات گندم تأثیر می‌گذارد. این ویژگی تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی و تعامل آن‌ها قرار دارد. تنوع سختی دانه در انواع مختلف گندم و مناطق مختلف وجود دارد. سختی معمولاً با استفاده از طیف‌سنجی نزدیک به مادون قرمز (NIR) تعیین می‌شود که می‌تواند برای نمونه‌های دانه کامل و آسیاب‌شده استفاده شود. در این روش، نمونه‌ها بر اساس مقادیر NIR طبقه‌بندی می‌شوند، با مقادیر NIR در محدوده ۱۳-۲۴ به عنوان "بسیار نرم"، ۲۵-۳۶ به عنوان "نرم"، ۳۷-۴۸ به عنوان "نرم متوسط"، ۴۹-۶۰ به عنوان "سخت متوسط" و ۴۹-۶۰ به عنوان "سخت" (Hrušková & Švec, 2009). ژنوتیپ‌های بررسی‌شده در مطالعه ما سطوح سختی از نرم تا سخت متوسط را نشان دادند. در مطالعه انجام‌شده توسط Frączek و همکاران (۲۰۰۵)، یک ارتباط منفی بین سختی دانه و رطوبت دانه مستند شد. در این تحقیق، تحت هر دو شرایط آبیاری، یک همبستگی منفی قوی نیز مشاهده شد. محتوای رطوبت موجود در دانه‌های گندم یک عامل تعیین‌کننده کلیدی برای فرآیندهای ذخیره‌سازی و جوانه‌زنی است. Khalid و همکاران (۲۰۲۲) یک همبستگی منفی بین محتوای رطوبت، محتوای پروتئین و نرخ رسوب زلنی را نشان دادند. تحقیق ما نیز یک ارتباط منفی بین محتوای رطوبت دانه و SP، ZS، WA و سختی دانه (SH) را نشان داد.

عملکرد ژنوتیپ برای تأمین غذا

مناسب بودن عملکرد ۶۰ ژنوتیپ مورد بررسی با استفاده از یک معیار مبتنی بر منطق فازی (MFV) که بر اساس صفات تحلیل‌شده است، ارزیابی شد. نمودار میله‌ای دایره‌ای میانگین MFVهای ۶۰ ژنوتیپ گندم را بر اساس صفات مورد ارزیابی نشان می‌دهد. نقاط قرمز و سبز به ترتیب نشان‌دهنده چارک‌های دوم و سوم MFVهای جمعیت هستند (شکل ۲).

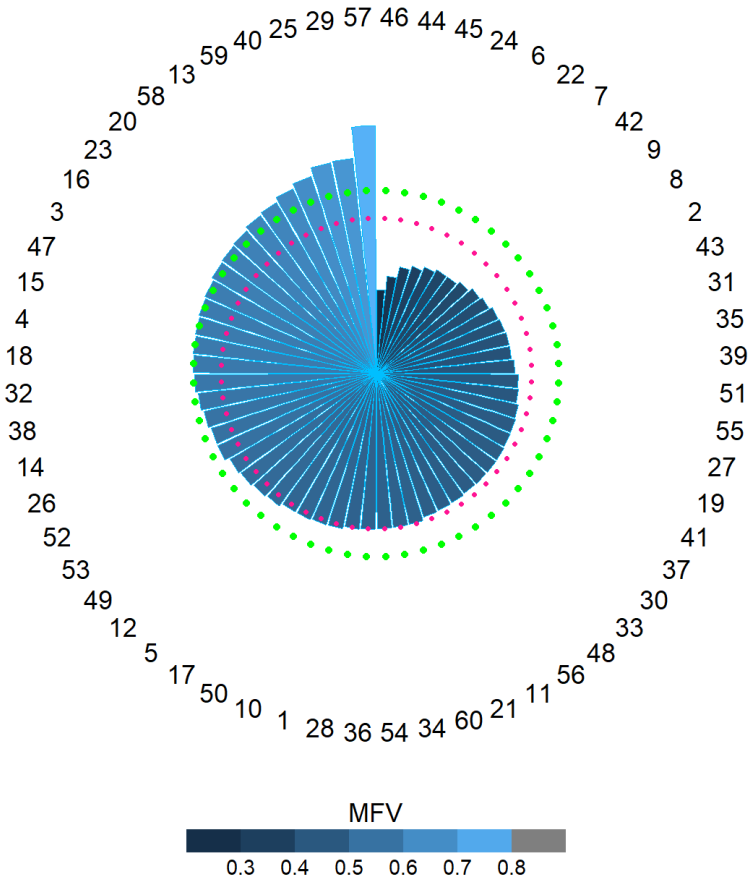

Fig. 2. Circular bar chart depicting mean MFVs of the traits analyzed in 60 wheat genotypes
The red and green dots represent the second and third quartiles of MFVs of the population.

گراف دایره‌ای نمودار میله‌ای توزیع عملکرد را در میان ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که زیر نقاط قرمز قرار دارند، MFVهای پایین‌تری دارند و در نتیجه عملکرد و کیفیت نانوایی کمتری نشان می‌دهند. در مقابل، ژنوتیپ‌هایی که از نقاط سبز فراتر می‌روند—ژنوتیپ‌های ۵۷، ۲۹، ۲۵، ۴۰، ۵۹، ۱۳، ۵۸، ۲۰ و ۲۳—عملکرد و کیفیت نانوایی بالاتری دارند. چنین کیفیتی برای مقابله با چالش‌های کشاورزی مانند نوسانات محیطی و تقاضای جهانی غذا اهمیت فزاینده‌ای دارد. تحقیقات بیشتر در ویژگی‌های خاصی که MFVهای بالا را در ژنوتیپ‌های برتر پشتیبانی می‌کنند، می‌تواند مکانیزم‌های ژنتیکی مسئول پایداری آن‌ها را مشخص سازد .

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ‌های ۵۷، ۲۹، ۲۵، ۴۰، ۵۹، ۱۳، ۵۸، ۲۰ و ۲۳راه‌حلی دوگلنه برای امنیت غذایی در مناطق نیمه‌خشک ارائه می‌دهند: حفظ تاب‌آوری عملکرد در کنار کیفیت نانوایی برتر تحت خشکی. SP، ZS و WA بالا، کارایی نان‌پزی و یکپارچگی تغذیه‌ای را تضمین می‌کند، که برای تولید غذای اصلی حیاتی است. برنامه‌های اصلاح نژاد باید از برهم‌کنش‌های G×S برای ترکیب تحمل به خشکی با ویژگی‌های کیفیتی استفاده کنند. کارهای آینده باید ابزارهای ژنومی (مانند GWAS) را برای رمزگشایی پایه ژنتیکی این هم‌افزایی ادغام کند، و توسعه گندم هوشمند در برابر اقلیم را برای امنیت غذایی جهانی تسریع کند.

References

Abdulla G and Abdel-Samie MAS. 2015. Effect of Roselle seeds flour addition on the quality characteristics of pan bread. Journal of Food and Dairy Sciences, 6(11): 625–636.

Ahmed HGM D, et al. 2022. Water Deficit Stress Tolerance Potential of Newly Developed Wheat Genotypes for Better Yield Based on Agronomic Traits and Stress Tolerance Indices. Frontiers in Plant Science, 13: 883929.

Ahmadi F, Aghajani N and Gohari Ardabili A. 2022. Response surface optimization of cupcake physicochemical and sensory attributes during storage period: Effect of apricot kernel flour addition. Food Science and Nutrition, 10(3): 661–677.

Akbari M R, Mohammadkhani A, Fakheri H, Zahedi M J, Shahbazkhani B, Nouraie M, Sotoudeh M, Shakeri R and Malekzadeh R. 2006. Screening of the adult population in Iran for coeliac disease: Comparison of the tissue-transglutaminase antibody and anti-endomysial antibody tests. European Journal of Gastroenterology and Hepatology, 18(11): 1181–1186.

Ammar I, Gharsallah H, Brahim A B, Attia H, Ayadi M A, Hadrich B and Felfoul I. 2021. Optimization of gluten free sponge cake fortified with whey protein concentrate using mixture design methodology. Food Chemistry, 343: 128–457.

Ayoubi A. 2018. The effect of wheat flour replacement with Eleaagnus Angustifolia Powder on quality characteristics of cupcake. Nutrition Sciences and Food Technology, 13(2): 79–88.

Aziah A N, Ho L H, Shazliana A N and Bhat R. 2012. Quality evaluation of steamed wheat bread substituted with green banana flour. International Food Research Journal, 19(3): 869–876.

Bahadoran S, Keramat J and Hojjatoleslami M. 2018. The effect of the addition of flaxseed meal flour on the physical characteristics of sponge cake. Journal of Food Science and Technology, 14(2): 671–684.

Chareonthaikij P, Uan-On T and Prinyawiwatkul W. 2016. Effects of pineapple pomace fiber on physicochemical properties of composite flour and dough, and consumer acceptance of fibre-enriched wheat bread. International Journal of Food Science and Technology, 51(5): 1120–1129.

Cissouma A I, Tounkara F, Nikoo M, Yang N and Xu X. 2013. Physico chemical properties and antioxidant activity of roselle seed extracts. Advance Journal of Food Science and Technology, 5(11): 1483–1489.

Da-Costa-Rocha I, Bonnlaender B, Sierers H, Pischel I and Heinrich M. 2014. Hibiscus sabdariffa L. - A phytochemical and pharmacological review. Food Chemistry, 165: 424–443.

Damirchi S and Salehifar M. 2021. Effect of oat flour and pumpkin powder on nutritional value, staling and organoleptic properties of chocolate cake. Journal of Food Science and Technology, 17(4): 621–630.

Das A B and Bhattacharya S. 2019. Characterization of the batter and gluten-free cake from extruded red rice flour. LWT-Food Science and Technology, 102: 197–204.

del Pozo A, et al. 2016. Physiological Traits Associated with Wheat Yield Potential and Performance under Water-Stress in a Mediterranean Environment. Frontiers in Plant Science, 7: 987.

Esteller M S and Lannes S C. 2008. Production and characterization of sponge dough bread using scalded rye. Journal of Texture Studies, 39(1): 56–67.

Ghosh P, Priyadarshini S, Munshi M, Beula P, Atthoti L, Kruthi G S, Sai Sravan B, Irshaan S, Rana S S and Abdullah S. 2023. Physicochemical characterization and mass modelling of Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) calyx and seeds. Food Chemistry Advances, 3: 100400.

Gómez M, Moraleja A, Oliete B, Ruiz E and Caballero P A. 2010. Effect of fibre size on the quality of fibre-enriched layer cakes. LWT-Food Science and Technology, 43(1): 33–38.

Grasso S, Liu S and Methven L. 2020. Quality of muffins enriched with upcycled defatted sunflower seed flour. LWT-Food Science and Technology, 119: 108893.

Guttieri M J, et al. 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science, 41(2): 327-335.

Haghayegh Gh. 2017. Evaluation of nutritional, technological and sensory properties of gluten free rice bread containing semi cereal. Journal of Food Science and Technology, 14 (69): 283–294.

Hainida E, Amin I, Normah H and Mohd.Esa N. 2008. Nutritional and amino acid contents of differently treated Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) seeds. Food Chemistry, 111: 906–911.

Hamzacebi O and Tacer-Caba Z. 2021. Date seed, oat bran and quinoa flours as elements of overall muffin quality. Current Research in Nutrition and Food Science, 9(1): 147–157.

Huang M and Yang H. 2019. Eucheuma powder as a partial flour replacement and its effect on the properties of sponge cake. LWT- Food Science and Technology, 110: 262–268.

Huang W, Kim Y, Li X and Rayas-Duarte P. 2008. Rheofermentometer parameters and bread specific volume of frozen sweet dough influenced by ingredients and dough mixing temperature. Journal of Cereal Science, 48(3): 639–646.

ISIRI No 2553. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Cake –Specification and test methods.

ISIRI No 2705. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Macaroni - Specifications and test methods.

ISIRI No 37. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Biscuit, Specifications and test methods, sixth revision.

Kaur R and Kaur M. 2018. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed. LWT-Food Science and Technology, 91: 278–285.

Kocer D, Hicsasmaz Z, Bayindirli A and Katnas S. 2007. Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar- and fat-replacer. Journal of Food Engineering, 78(3): 953–964.

Kouhsari F, Emam Jomeh Z and Yarmand M S. 2019. The effect of the sugar replacement with stevia and adding chia seed flour and chickpea protein isolated on qualitative and rheological properties of gluten-Free muffin prepared from rice flour. Iranian Journal of Biosystems Engineering, 50(3): 657–670.

Levent H and Bilgiçli N. 2011. Effect of gluten-free flours on physical properties of cakes. Journal of Food Science and Engineering, 1(5): 354–361.

Li Y, et al. 2013. Drought and heat stress effects on gluten protein composition and its relation to bread-making quality in wheat. Journal of Cereal Science, 58(3): 396-402.

Mariod A A, Suryaputra S S and Hanafi M. 2013. Effect of different processing techniques on Indonesian roselle (Hibiscus radiates) seed constituents. Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria, 12(4): 359–364.

Marchetti L, Califano A N and Andres S C. 2018. Partial replacement of wheat flour by pecan nut expeller meal on bakery products. Effect on muffins quality. LWT- Food Science and Technology, 95: 85–91.

Marston K, Khouryieh H and Aramouni F. 2016. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake. LWT- Food Science and Technology, 65: 637–644.

Mashkour M, Azari A, Hashemi Shahraki M, Raeisi M and Ebrahimi M. 2022. Effect of green tea powder on physicochemical properties and glycemic potential of sponge cake. Journal of Food Quality, 2022: 1065710.

Mata-Ramírez D, Serna-Saldívar S O, Villela-Castrejón J, Villaseñor-Durán M C and Buitimea-Cantúa N E. 2018. Phytochemical profiles, dietary fiber and baking performance of wheat bread formulations supplemented with Roselle (Hibiscus sabdariffa). Journal of Food Measurement and Characterization, 12(4): 2657–2665.

Mohamed R, Fernandez J, Pineda M and Aguilar M. 2007. Roselle (Hibiscus sabdariffa) seed oil is a rich source of γ-tocopherol. Journal of Food Science, 72(3): S207–S211.

Mohajer Khorasani S, Alami M, Kashaninejad M and Shahiri Tabarestani H. 2021. Effect of adding millet flour and Xanthan gum on the physicochemical and sensory properties of gluten-free batter and rice cake. Food Processing and Preservation, 13(1): 57–70.

Mokhtari Z, Zarringhalami S and Ganjloo A. 2018. Evaluation of chemical, nutritional and antioxidant characteristics of roselle (Hibiscus sabdariffa L.) seed. Nutrition and Food Sciences Research, 5(1): 41–46.

Nasrabadi M S, Nori Topkanloo H, Azadfar E and Ghazi Z. 2020. Effect of replacing wheat flour with grapefruit fibers on physicochemical and sensory characteristics of sponge cake. Food Technology and Nutrition, 17(66): 69–80.

Nguyen N T T, Le H A V, Pham D A and Tran T N Y. 2018. Evaluation of physical, nutritional and sensorial properties cookie supplied with Hibiscus sabdariffa L. seed powder (without shell). International Food Research Journal, 25(3): 1281–1287.

Nyam K L, Leao S Y, Tan C P and Long K. 2014. Functional properties of roselle (Hibiscus sabdariffa L.) seed and its application as bakery product. Journal of Food Science and Technology, 51(12): 3830–3837.

Nyam K L, Sin L N and Kamariah L. 2015. Phytochemical analysis and anti-Inflammatory effect of Kenaf and Roselle seeds. Malaysian Journal of Nutrition, 21(2): 245–254.

Poudel P B, et al. 2020. Drought stress effect, tolerance, and management in wheat – a review. Cogent Food & Agriculture, 9(1): 2296094.

Qi Y, Chin K L, Malekian F, Berhane M and Gager J. 2005. Biological characteristics, nutritional and medicinal value of roselle, Hibiscus sabdariffa. Circular-Urban Forestry Natural Resources and Environment, 604: 1–2.

Rimamcwe K B and Chavan U D. 2017. Antioxidant activity and nutritional value of Roselle seeds flour. International Journal of Current Microbiology Applied Sciences, 6(4): 2654–2663.

Sallam A, et al. 2023. Drought responses of traditional and modern wheats in different phenological stages. Field Crops Research, 304: 109145.

Salehi F, Kashaninejad M and Alipour N. 2016. Evaluation of physicochemical, sensory and textural properties of rich sponge cake with dried apples powder. Innovative Food Technologies, 3(3): 39–47.

Shaheen M A, El–Nakhlawy F and Al–Shareef A R. 2012. Roselle (Hibiscus sabdariffa L.) seeds as unconventional nutritional source. Journal of Biotechnology, 11(41): 9821–9824.

52. Shaikh R P and Gadhe K S. 2020. Studies on development and quality evaluation of cupcake fortified with flaxseed and chia seed flour. The Pharma Innovation Journal, 9(7): 214–217.

53. Singh P, Khan M and Hailemariam H. 2017. Nutritional and health importance of Hibiscus sabdariffa: a review and indication for research needs. Journal of Nutrition and Health Food Engineering, 6(5): 125–128.

Tounkara F, Amadou I I, Le G L and Shi Y H. 2011. Effect of boiling on the physicochemical properties of Roselle seeds (Hibiscus sabdariffa L.) cultivated in Mali. Journal of Biotechnology, 10(79): 18160–18166.

Tounkara F and Fane M M. 2022. Physico-chemical and nutritional properties of unfermented and fermented Roselle (Hibiscus sabdariffa Linn) seeds. Asian Food Science Journal, 21(9): 1–10.

Tsatsaragkou K, Gounaropoulos G and Mandala I. 2014. Development of gluten free bread containing carob flour and resistant starch. LWT - Food Science and Technology, 58(1): 124–129.

Zarringhalami S, Ganjloo A and Mokhtari Nasrabadi Z. 2021. Optimization xanthan gum, Roselle seed and egg white powders levels based on textural and sensory properties of gluten-free rice bread. Journal of Food Science and Technology, 58(3): 1124–1131.

Zhao K, et al. 2022. The end-use quality of wheat can be enhanced by optimal water management without incurring yield loss. Frontiers in Plant Science, 13: 1030763.