Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 17, Issue 4, 2025 p: 104-117

OPEN ACCESS

Research Paper

Investigating the Grouping of Some Wheat Genotypes based on Agronomic and Physiological Traits under Rain-Fed and Supplementary Irrigation Conditions, and Selection of Drought Stress-Tolerant Genotypes

Fariba Salehi Vahed[1], Iraj Bernousi[2], Mozaffar Roustaei[3] and Hadi Alipour[4]

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, (Corresponding author: i.bernosi@urmia.ac.ir)

3- Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agriculture Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

4- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 30 March, 2025 Revised: 02 July, 2025 Accepted: 08 August 2025

Extended Abstract

Background: Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important cereals to ensure the food security of the growing human population. This crop provides approximately 19% of total calories, 21% of protein, and a large amount of nutrients in the daily human diet. Most of the rain-fed areas in Iran are facing the problem of rainfall deficiency and the lack of proper rainfall distribution during the growing season. Iranian bread wheat cultivars have different pedigrees and sources, as the main factor separating the cultivars. The exchange of breeding materials with different origins helps improve agricultural production and strengthens world food security. It is necessary to evaluate such germplasms in field conditions, and the agronomic and physiological traits of wheat are of special importance in this context. The production of dry winter wheat is very important for some geographical regions of Iran, including the northwest of the country, and reduces the vulnerability to global climate change. Therefore, the present research was carried out to evaluate agronomic and physiological traits and group dryland winter wheat genotypes with different origins under supplemental irrigation and rain-fed conditions. This study also seeks to identify drought stress-tolerant genotypes using tolerance indices.

Methods: In total, 110 bread wheat genotypes from commercial cultivars, international stocks, advanced lines, and landraces of dryland winter bread wheat were investigated in this experiment. These genotypes were cultivated in the form of an Alpha-Lattice experimental design with two replications in the Dryland Agricultural Research Institute (DARI) located in Maragheh during the 2020-2021 crop year. Supplementary irrigation was 50 mm after planting, and the second irrigation was performed in the spring of the following year. Phenological stages included days to flowering, days to maturity, and grain-filling period. The greenness rate was measured using an NDVI device in two stages of spike emergence and three weeks after anthesis. Plant height, thousand-kernel weight, grain yield, biological yield, and harvest index were the other traits. Relationships between traits were analyzed based on Pearson's correlation coefficients. The Principal Component Analysis (PCA) biplot and the cluster analysis dendrogram based on Euclidean distance and Ward's grouping method were drawn in the R program. Canonical discriminant analysis (CDA) was performed based on the origin of wheat genotypes in SPSS 26 software. Various stress tolerance indices (TOL, MP, GMP, HM, SSI, STI, YI, YSI, and RSI) were used to select tolerant genotypes.

Results: The greenness rate in the spike emergence stage had a positive and high correlation with its value in three weeks after anthesis. In supplementary irrigation and rain-fed conditions, grain yield had a positive and significant relationship with plant height and biological yield. In both environments, the genotypes were widely distributed in the biplot space, which indicated high diversity among them in terms of agronomic and physiological traits. Based on cluster analysis in rain-fed and supplementary irrigation conditions, 110 studied wheat genotypes were classified into four groups, and the genotypes in the third group contained more grains and

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

biological yields in both dendrograms. Examining the distribution of the origin of genotypes in the dendrogram of cluster analysis indicated that cultivars tolerant to drought stress and native stands were present in the other groups under the conditions of supplementary irrigation, except for the fourth group, but Sardari morphotypes were mainly in the fourth group. In rain-fed conditions, on the other hand, most of the genotypes with the origin of cultivars tolerant to drought stress, landraces, and CIMMYT Institute lines were placed in the fourth group. The results of CDA analysis based on the origin of wheat genotypes indicated that the lines created by the CIMMYT center had the greatest distance from the cultivars from Turkey under both environmental conditions. In supplementary irrigation conditions, landraces and Sardari morphotypes, as well as in rain-fed conditions, cultivars tolerant to drought stress and landraces were highly similar. Genotypes with codes 46, 81, and 8 under supplementary irrigation and genotypes with codes 8, 110, and 94 under rain-fed produced the highest grain yields, respectively. Genotypes 106, 34, and 55 presented the lowest TOL value and were the most desirable genotypes in terms of this index. The Sardari cultivar (G8) and a rainfed line (G9) were recognized as the most suitable genotypes in terms of MP, GMP, HM, and STI. Genotypes 106, 34, and 44 were the most tolerant genotypes simultaneously by SSI, YSI, and RSI indices. Finally, genotypes 110, 67, and 8 had high sum rank (SR) and average rank (AR).

Conclusion: Among the 110 wheat genotypes studied, there was an acceptable diversity for agronomic and physiological traits under rain-fed and supplementary irrigation conditions. In supplementary irrigation, landraces and Sardari morphotypes, and under rain-fed conditions, landraces and drought stress-tolerant cultivars were highly similar to each other. A dryland line of the Iranian origin (G8), along with two foreign lines selected from CIMMYT trials (genotypes 67 and 110), were the most desirable and tolerant genotypes based on the average ranks obtained from stress tolerance indices, which can be used in future crossing programs.

Keywords: Canonical discriminant analysis, Drought stress, Grain yield, NDVI index, Stress tolerance indices

How to Cite This Article: Salehi Vahed, F., Bernousi, I., Roustaei, M., & Alipour, H. (2025). Investigating the Grouping of Some Wheat Genotypes based on Agronomic and Physiological Traits under Rain-Fed and Supplementary Irrigation Conditions, and Selection of Drought Stress-Tolerant Genotypes. *J Crop Breed,* 17(4), 104-117. DOI: 10.61882/jcb.2025.1605

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

گروه‌بندی برخی از ژنوتیپ‌های گندم بر اساس صفات زراعی و فیزیولوژیکی تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی

فریبا صالحی واحد[۱]، ایرج برنوسی[۲]، مظفر روستایی[۳] و هادی علی‌پور[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، (نویسنده مسوول: i.bernosi@urmia.ac.ir)
۳- استاد، مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
۴- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۷
صفحه ۱۰۴ تا ۱۱۷

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین غلات برای تضمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد انسان است. این گیاه تقریباً ۱۹ درصد از کل کالری، ۲۱ درصد از پروتئین و مقدار زیادی از مواد مغذی رژیم غذایی روزمره انسان‌ها را فراهم می‌کند. قسمت عمده‌ای از نواحی زیر کشت گندم دیم در ایران با مشکل کمبود بارش و نیز عدم‌پراکنش مناسب بارندگی در طی فصل رویشی مواجه هستند. ارقام گندم نان ایرانی دارای شجره و منابع پایه مختلفی هستند که این ویژگی عامل اصلی جدایی و تفکیک آن‌ها است. تبادل مواد اصلاحی با منشاهای مختلف به بهبود تولید کشاورزی کمک می‌کند و امنیت غذایی جهان را تقویت می‌نماید. لازم است که چنین ژرم‌پلاسم‌هایی در شرایط مزرعه مورد ارزیابی قرار گیرند و صفات زراعی و فیزیولوژیکی گندم در این زمینه از اهمیت خاصی برخوردار هستند. نظر به این که تولید گندم زمستانه دیم برای برخی از مناطق جغرافیایی ایران از جمله شمال‌غرب کشور بسیار مهم است و آسیب‌پذیری در برابر تغییرات آب و هوایی جهانی را کاهش می‌دهد، پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی صفات زراعی و فیزیولوژیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم زمستانه دیم با منشاهای مختلف تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم اجرا گردید. شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل از دیگر اهداف مطالعه حاضر بود.

مواد و روش‌ها: در این آزمایش، تعداد ۱۱۰ ژنوتیپ گندم نان از ارقام تجاری، خزانه‌های بین‌المللی، لاین‌های پیشرفته و توده‌های بومی گندم نان زمستانه دیم مورد بررسی قرار گرفتند. این ژنوتیپ‌ها در قالب طرح آزمایشی آلفالاتیس با دو تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور واقع در شهرستان مراغه طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ کشت شدند. آبیاری تکمیلی به‌میزان ۵۰ میلی‌متر بعد از کشت و آبیاری دوم در بهار سال بعد انجام گرفت. مراحل فنولوژیک شامل روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی و دوره پرشدن دانه با شمارش تعداد روز محاسبه شدند. میزان سبزینگی با استفاده از دستگاه NDVI در دو مرحله ظهور سنبله و ۳ هفته بعد از گرده‌افشانی سنجش گردید. سایر صفات شامل ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بودند. روابط بین صفات براساس ضرایب همبستگی پیرسون بررسی شدند. دندروگرام تجزیه خوشه‌ای بر پایه مربع فاصله اقلیدسی و روش گروه‌بندی Ward در برنامه R ترسیم گردید. همچنین، تجزیه تابع تشخیص کانونیکی براساس منشاء ژنوتیپ‌های گندم در نرم‌افزار SPSS 26 انجام گرفت. جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش (TOL، MP، GMP، HM، SSI، STI، YI، YSI و RSI) استفاده شد.

یافته‌ها: میزان سبزینگی در مرحله ظهور سنبله با مقدار آن در سه هفته بعد از گرده‌افشانی همبستگی مثبت و بالایی داشت. همچنین، در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم، عملکرد دانه با ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک دارای رابطه مثبت و معنی‌داری بود. در هر دو محیط، ژنوتیپ‌ها پراکنش وسیعی در فضای بای‌پلات داشتند که نشان‌دهنده تنوع بالا در میان آن‌ها از نظر صفات زراعی و فیزیولوژیکی بود. در نتیجه تجزیه خوشه‌ای در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، ۱۱۰ ژنوتیپ گندم مورد مطالعه در چهار گروه دسته‌بندی شدند که ژنوتیپ‌های موجود در گروه سوم در هر دو دندروگرام از عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بیشتری برخوردار بودند. بررسی توزیع منشاء ژنوتیپ‌ها در دندروگرام تجزیه خوشه‌ای حاکی از آن بود که تحت شرایط آبیاری تکمیلی، ارقام متحمل به تنش خشکی و توده‌های بومی به‌جز گروه چهارم در سایر گروه‌ها حضور داشتند ولی مورفوتیپ‌های سرداری عمدتا در گروه چهارم بودند. از طرفی دیگر، در شرایط دیم اغلب ژنوتیپ‌ها با منشاء ارقام متحمل به تنش خشکی، توده‌های بومی و لاین‌های موسسه CIMMYT در گروه چهارم قرار گرفتند. نتایج تجزیه تابع تشخیص کانونیکی براساس منشاء ژنوتیپ‌های گندم حاکی از آن بودند که تحت هر دو شرایط محیطی، لاین‌های ایجادشده توسط مرکز CIMMYT با ارقام مربوط به کشور ترکیه بیشترین فاصله را در فضای بای‌پلات داشتند. در شرایط آبیاری تکمیلی، توده‌های بومی و مورفوتیپ‌های سرداری و همچنین در شرایط دیم ارقام متحمل به تنش خشکی و توده‌های بومی تشابه بالایی داشتند. ژنوتیپ‌ها با کدهای ۴۶، ۸۱ و ۸ در شرایط آبیاری تکمیلی و ژنوتیپ‌ها با کدهای ۸، ۱۱۰ و ۹۴ در شرایط دیم به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه را داشتند. ژنوتیپ‌های شماره ۱۰۶، ۳۴ و ۵۵ کم‌ترین مقدار TOL را داشتند و مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص بودند. رقم سرداری (G8) و یک لاین دیم (G9) از نظر MP، GMP، HM و STI مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند. همچنین، ژنوتیپ‌های ۱۰۶، ۳۴ و ۴۴ به‌شکل همزمان توسط شاخص‌های SSI، YSI و RSI متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در نهایت، ژنوتیپ‌های ۱۱۰، ۶۷ و ۸ از مجموع رتبه (SR) و میانگین رتبه (AR) بالایی برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری: در میان ۱۱۰ ژنوتیپ گندم مطالعه‌شده، تنوع قابل قبولی برای صفات زراعی و فیزیولوژیکی در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی وجود داشت. در شرایط آبیاری تکمیلی، توده‌های بومی و مورفوتیپ‌های سرداری و در شرایط دیم ارقام متحمل به تنش خشکی و توده‌های بومی تشابه بالایی با یکدیگر داشتند. یک لاین دیم با منشاء داخلی (ژنوتیپ ۸) در کنار دو لاین خارجی انتخابی از آزمایشات CIMMYT (ژنوتیپ‌های ۶۷ و ۱۱۰) بر اساس میانگین رتبه‌های به‌دست آمده از شاخص‌های تحمل به تنش، مطلوب‌ترین و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند که می‌توانند در برنامه‌های تلاقی آینده مورد استفاده قرارگیرند.

واژه‌های کلیدی: تابع تشخیص کانونیکی، تنش خشکی، شاخص NDVI، شاخص‌های تحمل به تنش، عملکرد دانه

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از بزرگ‌ترین محصولات اصلی غلات برای تضمین امنیت غذایی جمعیت رو به رشد انسان در سراسر جهان است. این گیاه تقریباً ۱۹ درصد از کل کالری، ۲۱ درصد از پروتئین و مقدار زیادی از مواد مغذی رژیم غذایی روزمره انسان‌ها را فراهم می‌کند (Tadesse *et al*., 2019). به‌دلیل افزایش جمعیت جهان، تقاضای غذا در حال افزایش است. این وضعیت به‌دلیل تغییرات آب و هوایی و تخریب زمین‌های کشاورزی پیچیده‌تر نیز شده است. سود ژنتیکی در گندم کمتر از یک درصد در سال است که ایجاب می‌کند افزایش پتانسیل ژنتیکی بهره‌وری گندم، هدف اصلی برای همه برنامه‌های اصلاحی گندم باشد (Kumar *et al*., 2024). در ایران، علاوه‌بر افزایش رو به‌رشد جمعیت، تورم اقتصادی موجب شده است تا مصرف نان بیش از پیش در سبد غذایی مردم ایران جای گیرد. افزایش تنش‌های خشکی، شوری، گرما و تغییرات جوی شدید نیز عملکرد گندم آبی و دیم کشور را به چالش کشیده است.

در بیشتر مناطقی از جهان که گندم در آن رشد می‌کند، به‌ویژه در نواحی با آب و هوای مدیترانه‌ای، زمان گرده‌افشانی و دوره پرشدن دانه در گندم معمولاً مصادف با تنش آبی اواخر فصل است (Reynolds *et al*., 2005). تنش آبی ذکرشده نه‌تنها باعث کاهش قابل‌توجه عملکرد دانه می‌شود (Lan *et al*., 2022)، بلکه بر کیفیت دانه نیز تأثیر می‌گذارد (Singh *et al*., 2008). خشکی بسته به زمان، میزان و پراکنش بارندگی می‌توانند عملکرد گندم را به‌شدت در دیم‌زارها تحت‌تاثیر قرار دهند. قسمت اعظم نواحی زیر کشت گندم دیم در ایران با مشکل کمبود بارش و نیز عدم پراکنش مناسب بارندگی در طی فصل رویشی مواجه هستند. غربال‌گری ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان برای شناسایی ترکیب‌های جدید صفات و اصلاح برای ارقام متحمل به تنش خشکی از اولویت‌های به‌نژادی گندم دیم به‌شمار می‌رود (Nyaupane *et al*., 2024). تاکنون، ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های گندم نان به تنش خشکی موضوع چندین تحقیق بوده است (Rampino *et al*., 2006; Pandey *et al*., 2022; Wang *et al*., 2024). برخی از محققین با ارزیابی عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم و با بهره‌گیری از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش سعی در گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب داشتند (Etminan *et al*., 2019; Attia *et al*., 2022). محمدی و همکاران (Mohammadi *et al*., 2011) نشان دادند که شاخص‌های MP، GMP و STI همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی داشتند و به‌عنوان شاخص‌های بهینه برای شناسایی ارقام با تولید بالا و حساسیت کم به تنش خشکی شناخته شدند. در مطالعه‌ای، ضمن شناسایی نواحی ژنومی مرتبط با تحمل به تنش خشکی گزارش شد که شاخص تحمل به تنش STI، GMP و TOL قابل اعتمادترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار و پرمحصول بودند (Mosalam *et al*., 2025).

واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های گندم به تنش خشکی می‌توانند الگوهای متعددی از گروه‌بندی را در میان آن‌ها ایجاد نمایند. چنین گروه‌بندی در انتخاب والدین برای برنامه‌های اصلاحی آتی و همچنین شناسایی ارقام متحمل بسیار حائز اهمیت است. در مطالعه‌ای، توانا و صبا (Tavana & Saba, 2016) گروه‌بندی لاین‌های گندم را در شرایط دیم بررسی کردند و نتیجه گرفتند که گزینش خوشه اول لاین‌ها در مورد صفات فنولوژیک و خوشه دوم لاین‌ها در مورد صفات زراعی توانست منجربه گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بیشتر شود. اورسجی و همکاران (Avarsegi *et al*., 2023) ارقام گندم نان را برمبنای ویژگی‌های زراعی و با بهره‌گیری از روش‌های آماری چندمتغیره گروه‌بندی کردند. در پژوهشی مشابه، تجزیه خوشه‌ای در کنار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی توسط خدادادی و همکاران (Khodadadi *et al*., 2011) برای ارزیابی تنوع ژنتیکی و طراحی راهبردهای به‌نژادی در گندم با موفقیت استفاده شده است. علاوه بر تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، محققین از سایر روش‌ها نظیر آنالیز حساسیت (Mazloumi *et al*., 2020) و تجزیه تابع تشخیص کانونیکی (Alipour *et al*., 2020) نیز برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم استفاده کردند. متغیرهای کانونیکی ترکیبات خطی از اندازه‌های کمی اصلی هستند که بیشترین همبستگی چندگانه ممکن را با هر گروه دارند. این رویکرد، مناسب‌ترین خلاصه‌کننده تنوع بین گروه‌های مورد مطالعه است (Motamedi & Safari, 2019).

ارقام گندم ایرانی دارای شجره و منابع پایه مختلفی هستند که این ویژگی عامل اصلی جدایی و تفکیک آن‌ها است (Alipour *et al*., 2017). تبادل مواد اصلاحی با منشاهای مختلف به بهبود تولید کشاورزی کمک می‌کند و امنیت غذایی جهان را تقویت می‌نماید (Lüttringhaus *et al*., 2020). نظر به نقش تنوع ژنتیکی در پیشبرد اهداف برنامه‌های به‌نژادی و با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یک گیاه استراتژیک و نیز وسعت اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی صفات زراعی و فیزیولوژیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گندم با منشاها و خصوصیات مختلف تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم اجرا گردید. همچنین، شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل از دیگر اهداف حاضر بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش تعداد ۱۱۰ ژنوتیپ گندم نان با دورترین روابط خویشاوندی انتخابی از ارقام متحمل به خشکی (۱۰ ژنوتیپ)، توده بومی (۷ ژنوتیپ)، لاین دیم (۴۲ ژنوتیپ)، مورفوتیپ سرداری (۸ ژنوتیپ)، لاین موسسه CIMMYT (۳۹ ژنوتیپ) و ارقام ترکیه (۴ ژنوتیپ) از بخش غلات مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱).

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

جدول ۱- اطلاعات ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه

Table 1. Information of the studied wheat genotypes

کد (Code)	نام/شجره (Name/Pedigree)	منشاء (Origin)
1	Baran	Iran
2	Rasad	Iran
3	Azar2	Iran
4	Ohadi	Iran
5	Tak-Ab	IWWIP
6	Homa	Iran
7	Sardari	Iran
8	PMF/MAYA//YACO/3/CO693591/CTK/4/Trakia//Maga"s"74/Mon"s"/3/Shahi /5/Kohdasht/82 (CB-R5) IRBW 05- 064-OMAR-0SHI-OMAR-3MAR-3MAR	Iran
9	NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12/6/Azar2 /7/Trakia//Maga"s"74/Mon"s"/3/Shahi/4/ Khazar/3/Jcam/Emu"s"//Dove"IRBW 05- 013-OMAR-0SHI-OMAR-1MAR-2MAR	Iran
10	Fengkang15/Sefid/4/Dari-16/3/Hd2172/Bloudau//Azadi /5/10 GHAZAGESTAN 98-99/Zagros IRBW 05-099-OMAR-0SHI-OMAR-5MAR-2MAR	Iran
11	ID800994W/VEE//F900K/3/PONY/OPATA/4/4848 Mashad/Tui"s" /5/Un known-2/4/Trakia//Maga"s"74/Mon"s"/3/Shahi IRBW 05- 004-OMAR-0SHI-OMAR-1MAR-1MAR	Iran
12	CH94878/BLOYKA/3/TX81V6614//SERI*3/BUC ICWH99-0468-0AP-2AP-2AP-0AP-1AP-0AP	Iran
13	DYBR198283/842ABVD.C50/4/PJ/HN4//GLL/3/SERI TCI011056	IWWIP
14	Vorona/Parus//Hatusha/3/Lut112/4/Pehl//Rpb8-68//Chrc	Iran
15	Ghafghaz//F9.10/Maya"S"/3/Ebvd99-1 IRW2000-01 - 141-0MA	Iran
16	Saein	Iran
17	Hashtrood	Iran
18	Azar2/82 (CB-R5)/8/Sabalan/6/Shahi/Kvz/5/Shahi/4/Kal//B/Cj/3/#Horks /7/Unknown-3 IRBW 05- 151-0MAR-0MAR-0MAR-1MAR-1MAR	Iran
19	Fengkang15/Sefid/4/Dari-16/3/Hd2172/Bloudau//Azadi /5/10 GHAZAGESTAN 98-99/Zagros IRBW 05-099-OMAR-0SHI-OMAR-2MAR-1MAR	Iran
20	Sadra	Iran
21	SPII Genebank Collection -2010- 30	Iran
22	SPII Genebank Collection -2010- 110	Iran
23	SPII Genebank Collection -2010- 222	Iran
24	SPII Genebank Collection -2010- 260	Iran
25	SPII Genebank Collection -2010- 288	Iran
26	SPII Genebank Collection -2010- 304	Iran
27	SPII Genebank Collection -2010- 396	Iran
28	KATIA1/MV18-2000 IRW 05-06-32-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	Iran
29	KS82W409/SPN//TAM106/TX78V3630	IWWIP
30	CTY*3/TA2460//SHARK/F4105W2.1/3/SHARK/F4105W2.1 TCI022096-0E-0E-1E-0E -3YA -0E	IWWIP
31	RAN/NE701136//CI13449/CTK/3/CUPE/4/TAM200/KAUZ/5/BWD TCI012234-030YE-30E-5E-0E-1E-0E	IWWIP
32	Antonisis	IWWIP
33	BILINMIYEN 881	IWWIP
34	KS97W0935-29-15/SHARK-1/5/VEE/TSI//GRK/3/NS5503/5/C12615/COFN/3/N10B/P14//P101/4/KRC67	IWWIP
35	RAN/NE701136//CI13449/CTK/3/CUPE/4/TAM200/KAUZ/5/BWD	IWWIP
36	KS98HW220-5-1(ARLIN/YUMA)/KS01HW162(TGO/BTY SIB)	IWWIP
37	SABALAN/ALTAY	IWWIP
38	Azar2/87Zhong291-9	Iran
39	ATTILA*2/PBW65//YAKAR	IWWIP
40	KS84170E-8/KARL//AUBURN*2157_PAR/2165	IWWIP
41	GRISET-16	IWWIP
42	W99-331/97x0906-8	IWWIP
43	SAR-101	Iran
44	Sardari (92-93)- 18	Iran
45	Sardari (92-93)- 26	Iran
46	Sardari (92-93)- 48	Iran
47	Sardari (92-93)- 49	Iran
48	Sardari (92-93)- 51	Iran
49	Sardari (92-93)- 62	Iran
50	Sardari (92-93)- 84	Iran
51	DAGDASH/PASTOR IRW 05-06-72-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	Iran
52	SABALAN//SHUHA-1/DORG-1 IRW 05-06-64-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	Iran
53	CHAM-8/BOCRO-3//SONALIKA IRW 05-06-198-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	Iran
54	SAULESKU #44/TR810200//PAVON (dwarf) IRW 05-06-122-OMAR-OMAR-OQAM-OMAR	Iran
55	BUCUR/4/CROC-1/AE.SQUARROSA (205)// KAUZ/3/SASIA IRW 05-06-297-OMAR-OMAR-OQAM-OMAR	Iran
56	SAULESKU #44/TR810200//PAVON (tall) IRW 05-06-123-OMAR-OMAR-OQAM-OMAR	Iran
57	ZAGROS/4/CROC-1/AE.SQUARROSA (205)// KAUZ/3/SASIA IRW 05-06-142-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	Iran

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

ادامه جدول ۱- اطلاعات ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه

Table 1 continued. Information of studied wheat genotypes

کد Code	نام/شجره Name/Pedigree	منشاء origin
58	LIRA	IWWIP
59	HBK0935-29-15/KS90W077	IWWIP
60	AFINA	IWWIP
61	ASTET	IWWIP
62	JI5418/MARAS//SHRK/F4	IWWIP
63	GEREK	IWWIP
64	MUFITBEY	IWWIP
65	KARAHAN-99	IWWIP
66	SONMEZ01	IWWIP
67	ESKINA-10/GRISET-9	IWWIP
68	KS920709-B-5-1-1/BURBOT-4	IWWIP
69	MV14-2000//SHARK/F4105W2.1	IWWIP
70	KS920709-B-5-1-1/4/CHAM6//1D13.1/MLT/3/SHI4414/CROW	IWWIP
71	KIRGIZ95/8/SABUF/7/ALTAR 84/AE.SQUARROSA(224)//YACO/6/CROC_1/ AE.SQUARROSA(205)/5/BR12*3/4/IAS55*4/CI14123/3/IAS55*4/EG,AUS//IAS55*4/ALD/9/MEZGIT-4	IWWIP
72	SELYANKA/MERCAN-1	IWWIP
73	KRASNODAR/FRTL/6/NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12	IWWIP
74	KRASNODAR/FRTL/6/NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12	IWWIP
75	SONMEZ/EXCALIBUR	IWWIP
76	SONMEZ/EXCALIBUR	IWWIP
77	KRASNODAR/FRTL/6/NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12	IWWIP
78	ERYT783-96/SHARK-1	IWWIP
79	ORKINOS-1*2//KRICHAUFF/2*PASTOR	IWWIP
80	TX71A983.4/TX69D4812//PYN/3/VPM/MOS83.11.4.8//PEW/4/MUSTANG	IWWIP
81	F10S-1//ATAY/GALVEZ87	IWWIP
82	Morgan/Desconcoide	IWWIP
83	Sbn//Trm/k253/4/88ZHONG218//CTK/VEE/3/KVZ/GV//PRL F4 (Mah: sel at karaj) -0SN	Iran
84	HBK0935W-24/KS84W063-9-34-3-2//KARL 92/4/SHARK/F4105W2.1	Iran
85	11 GHAZAGESTAN 98-99/4/Roshan/3/F12.71/Coc//Gno79/5/Unknown-7/1002 Gene Bank Material IRBW 05-092-OMAR-0	Iran
86	GUN91/3/CROC_1/AE SQUARROSA(205)//KAUZ/4/IZGI	Iran
87	SARDARI-HR101/SARDARI-HR39 IRW 05-06-245-OMAR-OMAR-OQAM-OMAR	Iran
88	SAULESKU41/SADOVO1//Sardari-HR39 IRW 05-06-52-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	Iran
89	LR64/IZ1813//09344/3/NO57/4/SUT66/5/SABALAN/6/BEZ//BEZ/TVR/3/KREMENA/LOV29/4/KATYA1	Iran
90	KARL/NIOBRARA//TAM200/KAUZ/3/TAM200/KAUZ	Iran
91	ALTAY//JUN/BOMB IRW 05-06-36-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
92	PAVON (dwarf)/KAUZ (tall) IRW 05-06-84-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
93	CROC-1/AE.SQUARROSA (205)// KAUZ/3/SASIA/4/CHEN/ AEGILOPS SQUARROSA(TAUS)//BCN /3/VEE#7/ IRW 05-06-221-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
94	ZARGANA-3//JUN/BOMB IRW 05-06-333-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
95	SOROCA//SAULESKU #44/TR810200 IRW 05-06-171-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
96	SOROCA//SAULESKU #44/TR810200 IRW 05-06-171-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
97	SERI 82/SHUHA'S'//GRU90-204782/3/SARDARI/KAU"s"/NAO IRW 05-06-210-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
98	ALTAY/GAHAR IRW 05-06-41-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
99	NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12/ 6/PELSART /3/DONG87//TJB368.251/BUC/4/RSK/NAC IRW 05-06-138-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
100	NGDA146/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA/5/F130L1.12/ 6/PELSART /3/DONG87//TJB368.251/BUC/4/RSK/NAC IRW 05-06-138-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
101	P8-8/LLFN/3/BEZ/NAD//KZM/4/BB//CC/CNO*2/3/TOB156/BB/5/ PF8215/6/F134.71/NAC/7/SARDARI-HR86 IRW 05-06-355-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
102	GAHAR/3/SKAUZ/PASTOR//PASTOR*2/OPATA IRW 05-06-145-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
103	GAHAR/3/SKAUZ/PASTOR//PASTOR*2/OPATA IRW 05-06-145-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
104	KOHDASHT//37032 TURKEY/DARI-8 IRW 05-06-149-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
105	BEZ/ALTAY IRW 05-06-14-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
106	BEZ/ALTAY IRW 05-06-14-OMAR-OMAR_0MAR	Iran
107	Azar-2/Ardabil 82 - 33 IRBW07-23-54-20 IRBW07-23-54-20-0SAR-0SAR_0MAR	Iran
108	Sardari/Ardabil 82 - 33 IRBW07-23-54-36 IRBW07-23-54-36-0SAR-0SAR_0MAR	Iran
109	ATTILLA//VORONA/TR810200	IWWIP
110	MV14-2000//SHARK/F4105W2.1	IWWIP

IWWIP: International Winter Wheat Improvement Program

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

این ژنوتیپ‌ها در قالب طرح آزمایشی آلفا لاتیس در دو تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور واقع در شهرستان مراغه (عرض جغرافیایی "۱۲´۱۶º۳۷ شمالی و طول جغرافیایی "۳۶´۲۷º۴۶ شرقی و ۱۷۲۰ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد) طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ کشت و براساس خصوصیات زراعی، فنولوژیکی و فیزیولوژیکی ارزیابی گردیدند. پارامترهای آب و هوایی ایستگاه مراغه طی سال زراعی مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده‌اند. میانگین بارندگی بلندمدت ایستگاه مراغه ۳۵۰/۷۸ میلی‌متر، مجموع روزهای زیر صفر بلند مدت ۱۳۱ روز و تعداد روز زیر صفر در بهار ۱۱ روز هستند. مواد گیاهی مطابق با دستورالعمل فنی کاشت گندم در مناطق سردسیر کشت شدند. آبیاری تکمیلی به میزان ۵۰ میلی‌متر بعد از کشت و آبیاری دوم در بهار سال بعد انجام گرفت. ابعاد واحدهای آزمایشی شامل شش‌خط شش‌متری با فاصله ۱۷/۵ سانتی‌متر (۵/۲۵ متر مربع) بودند. مقادیر بذور مصرفی براساس تراکم ۳۸۰ و ۴۰۰ دانه در متر مربع به‌ترتیب در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی لحاظ گردیدند که با توجه به وزن هزار دانه هر رقم و لاین محاسبه شدند. در مرحله برداشت، پس از حذف نیم متر طولی، گیاهان هر کرت به‌وسیله کمباین مخصوص آزمایشات برداشت شدند.

مراحل فنولوژیک شامل روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی و دوره پرشد دانه با شمارش تعداد روز محاسبه شدند. میزان سبزینگی با استفاده از دستگاه NDVI، که پوشش‌گیاهی تفاضلی نرمال‌شده[1] است، در دو مرحله رشدی ظهور سنبله و سه هفته بعد از گرده‌افشانی سنجش گردید. ارتفاع بوته بر حسب سانتی‌متر از سطح خاک تا انتهای سنبله اندازه‌گیری شد. وزن هزار دانه بر حسب گرم و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند. شاخص برداشت از نسبت وزن دانه بر وزن بیولوژیک محاسبه و بر حسب درصد بیان گردید.

روابط بین صفات براساس ضرایب همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS 26 بررسی شدند. بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و دندروگرام تجزیه خوشه‌ای بر پایه مربع فاصله اقلیدسی و روش گروه‌بندی Ward در بسته آماری factoextra برنامه R 4.2.2 ترسیم گردید. میانگین بین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای Duncan در سطح احتمال پنج درصد و در نرم‌افزار SAS 9.4 مقایسه شد. همچنین تجزیه تابع تشخیص کانونیکی (CDA) بر اساس منشاء و خصوصیات ژنوتیپ‌های گندم در نرم‌افزار SPSS 26 تجزیه گردید.

جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش استفاده شد. این شاخص‌ها بر اساس عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم محاسبه شدند (Pour-Aboughadareh *et al*., 2019). شاخص تحمل (Rosielle & Hamblin, 1981)، میانگین تولید (Rosielle & Hamblin, 1981)، میانگین هندسی تولید (Fernandez, 1992)، میانگین هارمونیک (Bidinger *et al*., 1987)، شاخص حساسیت به تنش (Fischer & Maurer, 1978)، شاخص تحمل تنش (Fernandez, 1992)، شاخص عملکرد (Gavuzzi *et al*., 1997)، شاخص پایداری عملکرد (Bouslama & Schapaugh, 1984) و شاخص نسبی تنش (Fischer & Wood, 1979) از جمله این شاخص‌ها بودند که توسط ابزار آنلاین iPASTIC (https://manzik.com/ipastic/) محاسبه شدند (Pour-Aboughadareh *et al*., 2019).

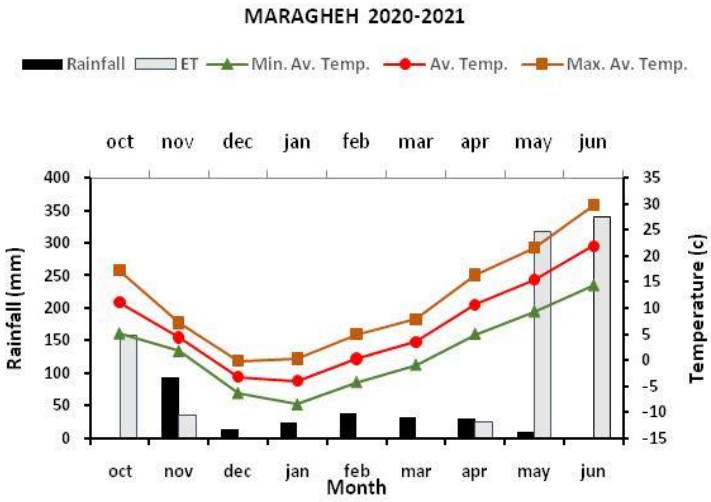
نتایج و بحث

تجزیه همبستگی

بین مراحل فنولوژیک همبستگی مثبتی مشاهده شد. مراحل فنولوژیک از مهم‌ترین عوامل سازگاری گندم نان با شرایط محیطی تلقی می‌گردند. روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی با اجزای عملکرد به‌ویژه در شرایط آبیاری تکمیلی رابطه منفی داشتند. این نتیجه مورد انتظار بود، زیرا در شرایط عدم آبیاری کامل، فرار از خشکی یکی از مکانیسم‌هایی است که به گیاه این امکان را می‌دهد تا چرخه زندگی خود را قبل از وقوع تنش خشکی کامل نماید. بنا بر این، ژنوتیپ‌های زودرس در شرایط تنش آخر فصل عملکرد و اجزای عملکرد تقریباً بیشتری خواهند داشت. میزان سبزینگی در مرحله ظهور سنبله با مقدار آن در سه هفته بعد از گرده‌افشانی همبستگی مثبت و بالایی داشت. برخلاف آنچه که انتظار می‌رفت، شاخص مذکور با عملکرد و اجزای عملکرد رابطه خاصی نشان نداد. از آن‌جایی‌که ضریب همبستگی پیرسون قدرت و جهت رابطه خطی بین صفات را اندازه می‌گیرد، لذا ممکن است شاخص سبزینگی با اجزای عملکرد دارای رابطه غیر خطی باشد. در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم، عملکرد دانه با ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک دارای رابطه مثبت و معنی‌داری بود (جدول ۲). چنین روابطی بین صفات گندم نان پیش از این گزارش شده‌اند (Mohammadi, 2014; Whittal *et al*., 2018; Avarsegi *et al*., 2023). لازم به توضیح است که برخی از ضرایب همبستگی علی‌رغم مقدار پایین، معنی‌دار شده‌اند که امر می‌تواند ناشی از تعداد زیاد نمونه باشد و از نظر به‌نژادی قابل اتکا نیستند.

[1] Normalized difference vegetation index

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]



شکل ۱- پارامترهای آب و هوایی ایستگاه مراغه طی سال زراعی مورد مطالعه
Fig 1. Climatic parameters of the Maragheh station during the studied year

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری تکمیلی (بالای قطر اصلی) و دیم (پایین قطر اصلی)
Table 2. Correlation coefficients between the studied traits under supplementary irrigation (above the main diameter) and rain-fed (below the main diameter)

TKW	HI	BY	GY	PH	NDVI2	NDVI1	GFP	DM	DF	
-0.63**	-0.28**	-0.31**	-0.36**	-0.52**	-0.38**	-0.29**	0.30**	0.91**		DF
-0.55**	-0.27**	-0.24**	-0.33**	-0.54**	-0.34**	-0.22**	0.68**		0.05 ns	DM
-0.15 ns	-0.13 ns	-0.01 ns	-0.11 ns	-0.30**	-0.11 ns	0.03 ns		0.99**	-0.07ns	GFP
0.26**	0.09 ns	0.05 ns	0.18 ns	0.35**	0.88**		0.02 ns	-0.01 ns	-0.22*	NDVI1
0.29**	0.11 ns	0.13 ns	0.19*	0.44**		0.70**	0.07 ns	0.03 ns	-0.17 ns	NDVI2
0.43**	0.25**	0.39**	0.57**		0.01 ns	-0.01 ns	-0.18 ns	-0.19*	-0.09 ns	PH
0.26**	0.18ns	0.61**		0.44**	ns-0.09	-0.13 ns	-0.17 ns	-0.16 ns	0.11 ns	GY
0.24*	0.12 ns		0.48**	0.45**	-0.15 ns	-0.12 ns	-0.05 ns	-0.06 ns	-0.06 ns	BY
0.44**		0.11 ns	0.06 ns	0.14 ns	0.05 ns	-0.07 ns	-0.19*	-0.19*	0.01 ns	HI
	0.42**	0.31**	0.08 ns	0.27**	0.05 ns	-0.01 ns	-0.11 ns	-0.13 ns	0.22**	TKW

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌داری هستند. DF: روز تا گلدهی، DM: روز تا رسیدگی، GFP: دوره پر شدن دانه، NDVI1: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده در مرحله ظهور سنبله، NDVI2: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده در سه هفته بعد از گرده افشانی، PH: ارتفاع بوته، GY: عملکرد دانه، BY: عملکرد بیولوژیک، HI: شاخص برداشت و TKW: وزن هزار دانه

**, *, and ns are significant at 1%, 5% levels, and non-significant, respectively. DF: Days to flowering, DM: Days to maturity, GFP: Grain-filling period, NDVI1: Normalized difference vegetation index at the spike emergence stage, NDVI2: Normalized difference vegetation index in three weeks after anthesis, PH: Plant height, GY: Grain yield, BY: Biological yield, HI: Harvest index, and TKW: Thousand-kernel weight

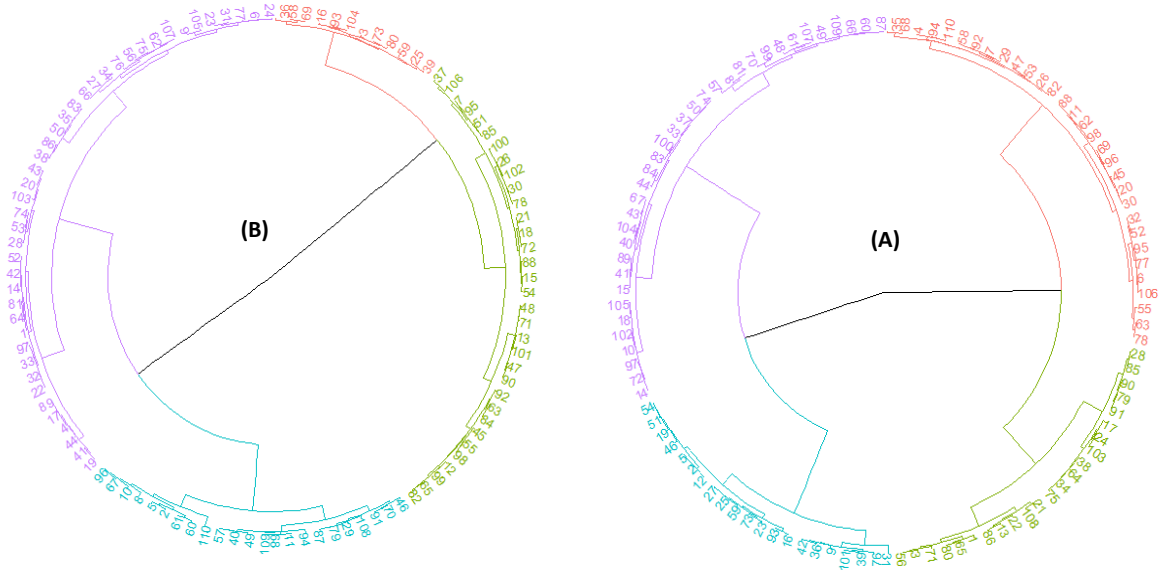
تجزیه خوشه‌ای

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، ۱۱۰ ژنوتیپ گندم مورد مطالعه در چهار گروه دسته‌بندی شدند (شکل ۲). تحت شرایط آبیاری تکمیلی، ۳۱ ژنوتیپ در گروه اول قرار گرفتند که از نظر اکثر صفات وضعیتی متوسط داشتند. گروه دوم، شامل ۲۳ ژنوتیپ بود که از کم‌ترین ارتفاع بوته، عملکرد دانه و شاخص‌برداشت برخوردار بودند. همچنین، گروه سوم از ۲۱ ژنوتیپ متشکل شد و برخلاف گروه دوم بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را داشتند. در نهایت، ۳۵ ژنوتیپ در گروه چهارم حضور یافتند که از نظر وزن هزار دانه و میزان سبزینگی وضعیت بهتری داشتند (جدول ۳). در سوی دیگر، در گروه‌های اول، دوم، سوم و چهارم تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط دیم به‌ترتیب ۱۲، ۳۳، ۲۳ و ۴۲ ژنوتیپ وجود داشتند. گروه اول کم‌ترین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه را به‌خود اختصاص داد، درحالی‌که ژنوتیپ‌های موجود در گروه سوم از بیشترین میانگین برای این صفات برخوردار بودند. تقریبا در هر دو شرایط محیطی، گروه‌های به‌وجود آمده تمایز روشنی از نظر برخی از صفات از جمله مراحل فنولوژیک، میزان سبزینگی و شاخص برداشت نداشتند (جدول ۳).

بررسی توزیع منشاء ژنوتیپ‌ها در دندروگرام تجزیه خوشه‌ای حاکی از آن بود که تحت شرایط آبیاری تکمیلی، ارقام متحمل به تنش خشکی و توده‌های بومی به‌جز گروه چهارم در سایر گروه‌ها حضور داشتند ولی مورفوتیپ‌های سرداری عمدتا در گروه چهارم بودند. همچنین، اغلب لاین‌های دیم و لاین‌های موسسه CIMMYT در گروه‌های اول و چهارم پراکنش داشتند. از طرف دیگر، در شرایط دیم اغلب ژنوتیپ‌ها با منشاء ارقام متحمل به تنش خشکی، توده‌های بومی و لاین‌های موسسه CIMMYT در گروه چهارم قرار گرفتند. علاوه بر این، لاین‌های دیم نیز در گروه دوم حضور بیشتری داشتند. در یک مطالعه بین‌المللی،

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

داده‌های حاصل از خزانه‌های مختلف برای بهبود درک از ارتباطات مکانی در سراسر غرب و مرکز آسیا به‌نفع به‌نژادگران گندم بین‌المللی و منطقه‌ای ترکیب شدند (Lage *et al*., 2008). در توافق با نتایج پژوهش حاضر، نتیجه‌گیری شده است که نسبتی از ژنوتیپ‌ها با منشاها و برنامه‌های اصلاحی مختلف در یک خوشه مشابه قرار می‌گیرند (Karsai *et al*., 2012). به نظر می‌رسد که انجام آزمایشات چندمحیطی و یا استفاده از اطلاعات نشانگرهای مولکولی در زمینه تفکیک ژنوتیپ‌ها با منشا اصلاحی مختلف می‌تواند مفید باشد. علی‌پور و همکاران (Alipour *et al*., 2017) در تجزیه خوشه‌ای بر پایه نشانگرهای مولکولی گزارش کردند که اکثر ارقام گندم با منشا ایران یا دارای یک والد از ایران به شکل قابل قبولی از ارقام با منشا CIMMYT جدا شدند.



شکل ۲- گروه‌بندی ۱۱۰ ژنوتیپ گندم براساس تجزیه خوشه‌ای تحت شرایط آبیاری تکمیلی (A) و دیم (B)
Figure 2. Grouping of 110 wheat genotypes based on cluster analysis under supplementary irrigation (A) and rain-fed (B) conditions

جدول ۳- مقایسه میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مورد مطالعه تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم
Table 3. Comparison of group means derived from cluster analysis based on the studied traits under supplementary irrigation and rain-fed conditions

شرایط دیم Rain-fed conditions				آبیاری تکمیلی Supplementary irrigation				صفت Trait
گروه چهار (42)	گروه سوم (23)	گروه دوم (33)	گروه اول (12)	گروه چهار (35)	گروه سوم (21)	گروه دوم (23)	گروه اول (31)	
157.8 ^{a}	157.7 ^{a}	157.8 ^{a}	157.9 ^{a}	157.2 ^{b}	157.0 ^{b}	158.3 ^{a}	157.7 ^{ab}	DF
192.1 ^{a}	190.3 ^{a}	191/0 ^{a}	^{a}191.8	196.9 ^{b}	197.1 ^{b}	198.5 ^{a}	197.5 ^{ab}	DM
34.3 ^{a}	32.6 ^{a}	33.2 ^{a}	33.9 ^{a}	39.8 ^{a}	40.1 ^{a}	40.2 ^{a}	39.9 ^{a}	GFP
0.487 ^{ab}	0.486 ^{ab}	0.475 ^{b}	0.552 ^{a}	0.372 ^{a}	0.345 ^{a}	0.347 ^{a}	0.367 ^{a}	NDVI1
0.183 ^{ab}	0.176 ^{b}	0.176 ^{b}	0.196 ^{a}	0.306 ^{a}	0.281 ^{ab}	0.263 ^{b}	0.298 ^{ab}	NDVI2
62.9 ^{b}	68.4 ^{a}	59.5 ^{bc}	55.2 ^{c}	70.03 ^{a}	70.5 ^{a}	61.6 ^{b}	66.9 ^{a}	PH (cm)
891.4 ^{a}	934.8 ^{a}	790.8 ^{b}	659.8 ^{c}	1268.4 ^{b}	1413.6 ^{a}	995.4 ^{c}	1188.7 ^{b}	GY (kg/h)
3179.8 ^{b}	3827.9 ^{a}	2582.3 ^{c}	2145.8 ^{d}	4753.7 ^{b}	5907.6 ^{a}	3174.8 ^{c}	4046.5 ^{c}	BY (kg/h)
29.24 ^{a}	29.51 ^{a}	28.30 ^{a}	29.20 ^{a}	33.61 ^{a}	34.59 ^{a}	33.41 ^{a}	32.93 ^{a}	HI (%)
33.82 ^{b}	36.44 ^{a}	33.71 ^{b}	32.88 ^{b}	36.09 ^{a}	35.90 ^{a}	34.04 ^{b}	35.18 ^{ab}	TKW (g)

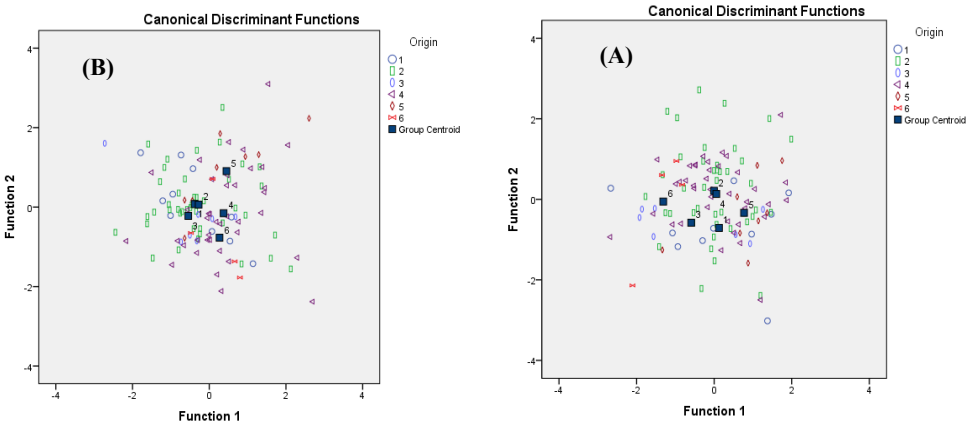
در هر ردیف، میانگین‌ها با حروف نامشابه اختلافات معنی‌داری از نظر آزمون دانکن دارند. DF: روز تا گل‌دهی، DM: روز تا رسیدگی، GFP: دوره پر شدن دانه، NDVI1: شاخص پوشش‌گیاهی تفاضلی نرمال‌شده در مرحله ظهور سنبله، NDVI2: شاخص پوشش‌گیاهی تفاضلی نرمال‌شده در سه هفته بعد از گرده افشانی، PH: ارتفاع بوته، GY: عملکرد دانه، BY: عملکرد بیولوژیک، HI: شاخص برداشت و TKW: وزن هزار دانه
In each row, means with different letters are significantly different according to Duncan's test. DF: Days to flowering, DM: Days to maturity, GFP: Grain-filling period, NDVI1: Normalized difference vegetation index at the spike emergence stage, NDVI2: Normalized difference vegetation index in three weeks after anthesis, PH: Plant height, GY: Grain yield, BY: Biological yield, HI: Harvest index, and TKW: Thousand-kernel weight

تجزیه تابع تشخیص کانونیکی

نتایج تجزیه تابع تشخیص کانونیکی براساس منشاء ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه در شکل ۳ ارائه شده‌اند. در

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

این تصویر، مقادیر میانگین متغیرهای کانونیکی به‌عنوان مراکز گروه‌ها تلقی شده‌اند. همان طور که ملاحظه می‌گردد، تحت هر دو شرایط محیطی لاین‌های تولید شده توسط مرکز CIMMYT با ارقام مربوط به کشور ترکیه بیشترین فاصله را در فضای بای‌پلات دارند؛ به عبارتی دیگر، این دو گروه حائز بیشترین تمایز بودند. در شرایط آبیاری تکمیلی، توده‌های بومی و مورفوتیپ‌های سرداری و همچنین در شرایط دیم ارقام متحمل به تنش خشکی و توده‌های بومی تشابه بالایی داشتند. اگرچه تجزیه خوشه‌ای و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی از پرکاربردترین روش‌های آماری چندمتغیره هستند، اما در کنار آن‌ها استفاده از تجزیه تابع تشخیص کانونیکی می‌تواند دیدی روشن‌تری را از وضعیت گروه‌بندی‌های صورت گرفته ارائه دهد. معتمدی و همکاران (Motamedi & Safari, 2019) در ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی در برخی از ارقام گندم و هیبریدهای آن‌ها گزارش کردند که دو متغیر کانونیکی سه گروه را متمایز کرد. در مطالعه‌ای دیگر، نتیجه‌گیری شد که تجزیه تابع تشخیص کانونیکی توانایی تشخیص زیرگروه‌ها را داشت (Alipour *et al*., 2020). به طور کلی، تجزیه تابع تشخیص کانونیکی که خود ترکیبی از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه همبستگی است، می‌تواند تنوع صفات زراعی را هم مورد مطالعه قرار دهد (Liakat Ali *et al*., 2011). صفری و همکاران (Safari *et al*., 2018) در ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی لاین‌های گندم نان اظهار داشتند که متغیر کانونیکی اول، ژنوتیپ‌ها را بر اساس پتانسیل عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی متمایز کرد، در حالی که متغیر کانونیکی دوم، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش را از انواع حساس تفکیک نمود.



شکل ۳- تمایز ژنوتیپ‌های گندم بر اساس منشاء و خصوصیات آن‌ها (۱: ارقام متحمل به خشکی، ۲: توده بومی، ۳: لاین دیم، ۴: مورفوتیپ سرداری، ۵: لاین موسسه CIMMYT و ۶: رقم ترکیه) با استفاده از تابع تشخیص کانونیکی در شرایط آبیاری تکمیلی (A) و دیم (B).

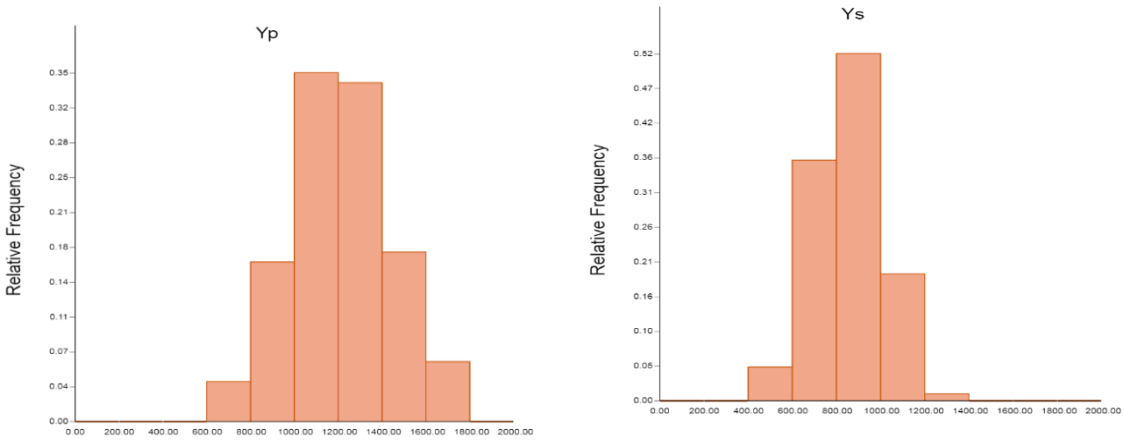
Figure 3. Differentiation of wheat genotypes based on their origins and characteristics (1: Drought tolerant variety, 2: Landraces, 3: Rainfed line, 4: Sardari morphotype, 5: CIMMYT line, and 6: Turkish variety) using the canonical discriminant function in supplementary irrigation (A) and rain-fed (B) conditions

گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی

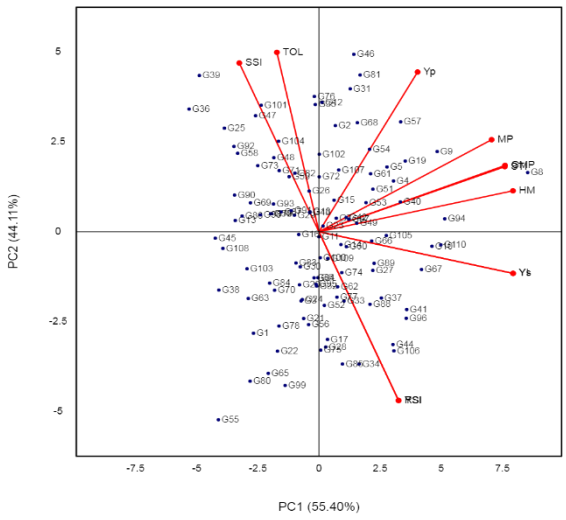
شکل ۴ فراوانی نسبی عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌گردد، میانگین‌های کل عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها کاهش ۴۰ درصدی را در نتیجه شرایط تنش تجربه کردند. در همین رابطه، گزارش شده است که آبیاری تکمیلی شکاف عملکرد تحت شرایط دیم را ۲/۱۲ الی ۳/۲۷ تن در هکتار کاهش می‌دهد (*Devkota et al*., 2023). ژنوتیپ‌ها با کدهای ۴۶، ۸۱ و ۸ در شرایط آبیاری تکمیلی و ژنوتیپ‌ها با کدهای ۸، ۱۱۰ و ۹۴ در شرایط دیم به‌ترتیب بیشترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴). ژنوتیپ‌های شماره ۱۰۶، ۳۴ و ۵۵ کمترین مقدار شاخص تحمل (TOL) را داشتند و مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها از نظر این شاخص بودند. رقم سرداری (G8) و یک لاین دیم (G9) از نظر میانگین تولید (MP)، میانگین هندسی تولید (GMP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل تنش (STI) مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها شناخته شدند (جدول ۴). ژنوتیپ‌های ۱۰۶، ۳۴ و ۴۴ به شکل همزمان توسط شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص نسبی تنش (RSI) متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در نهایت، ژنوتیپ‌های ۱۱۰، ۶۷ و ۸ از مجموع رتبه (SR) و میانگین رتبه (AR) بالایی برخوردار بودند و در مجموع، تمام شاخص‌ها مطلوب بودند. ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۶ و ۲۹ نیز انحراف معیار (SD) کمتری در رتبه خود نشان دادند (جدول ۴). بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر پایه عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی نشان داد که بردارهای شاخص‌های MP، GMP، HM و STI در بین بردارهای عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم قرار داشتند و به‌دلیل زاویه بردار کمتر با عملکرد دانه در هر دو شرایط همبستگی مثبتی داشتند. پراکنش وسیع ژنوتیپ‌ها در بای‌پلات PCA حاکی از وجود تنوع قابل ملاحظه بین آن‌ها از نظر عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش است (شکل ۵). شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی یک استراتژی امیدوارکننده برای مقابله با منابع آبی به‌سرعت در حال کاهش جهان است. استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش برای

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

گزینش ژنوتیپ‌ها متحمل سابقه‌ای طولانی دارد. در توافق با یافته‌های این پژوهش، نتیجه‌گیری شده است که انتخاب ژنوتیپ‌های گندم بر اساس شاخص‌های MP، HM، GMP و STI می‌تواند دستیابی به ژنوتیپ‌های پرمحصول کمک کند (Salarpour *et al*., 2021; Rabieyan *et al*., 2023). همچنین، همانند مطالعه حاضر، محاسبه این شاخص‌ها توانست ژنوتیپ‌های گندم (Mohammadi *et al*., 2011; Etminan *et al*., 2019) و جو (Attia *et al*., 2022) متحمل به تنش خشکی را که در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی ارزیابی شده بودند، گزینش نماید.



شکل ۴- فراوانی نسبی عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی (Yp) و دیم (Ys)
Figure 4. Relative frequencies of grain yield under supplementary irrigation (Yp) and rain-fed (Ys) conditions



شکل ۵- بای‌پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ژنوتیپ‌های گندم بر اساس عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی. Yp: عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی، Ys: عملکرد دانه تحت شرایط دیم، TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین تولید، GMP: میانگین هندسی تولید، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI: شاخص پایداری عملکرد و RSI: شاخص نسبی تنش
Figure 5. The principal components analysis biplot of wheat genotypes based on grain yield and drought stress tolerance indices. Yp: grain yield under supplementary irrigation conditions, Ys: grain yield under rain-fed conditions, TOL: Tolerance index, MP: Mean productivity, GMP: Geometric mean productivity, HM: Harmonic mean, SSI: Stress susceptibility index, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, YSI: Yield stability index, and RSI: Relative stress index

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

جدول ۴- عملکرد دانه در شرایط مختلف و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی برای ۱۵ ژنوتیپ برتر گندم

Table 4. Grain yield under different conditions and drought stress tolerance indices for the top 15 wheat genotypes

SD	AR	SR	RSI	YSI	YI	STI	SSI	HM	GMP	MP	TOL	Ys (kg/h)	Yp (kg/h)	رتبه
(2.05) G11	(12.6) G110	(139) G110	(1.44) G106	(0.995) G106	(1.601) G8	(1.530) G8	(0.0150) G106	(1500) G8	(1509) G8	(1519) G8	(5) G106	(1348) G8	(1758) G46	1
(4.08) G16	(14.4) G67	(159) G67	(1.44) G34	(0.990) G34	(1.39) G110	(1.188) G9	(0.032) G34	(1306) G9	(1330) G9	(1354) G9	(10) G34	(1168) G110	(1703) G81	2
(4.53) G29	(14.5) G8	(160) G8	(1.42) G44	(0.982) G44	(1.381) G94	(1.136) G94	(0.058) G44	(1292) G94	(1301) G94	(1309) G57	(18) G55	(1163) G94	(1690) G8	3
(5.74) G14	(14.8) G10	(163) G10	(1.41) G85	(0.975) G85	(1.360) G10	(1.09) G110	(0.082) G85	(1269) G110	(1274) G110	(1309) G94	(20) G44	(1145) G10	(1645) G31	4
(5.75) G91	(15.8) G94	(174) G94	(1.41) G55	(0.973) G55	(1.343) G67	(1.082) G57	(0.087) G55	(1249) G10	(1269) G57	(1291) G46	(25) G85	(1130) G67	(1631) G57	5
(5.80) G23	(16.6) G41	(183) G41	(1.40) G99	(0.964) G99	(1.322) G96	(1.056) G10	(0.116) G99	(1230) G57	(1254) G10	(1280) G19	(30) G99	(1113) G96	(1608) G9	6
(6.11) G87	(16.9) G96	(186) G96	(1.37) G96	(0.943) G96	(1.319) G41	(1.055) G19	(0.185) G96	(1218) G19	(1253) G19	(1279) G81	(63) G80	(1110) G41	(1563) G76	7
(4.6) G109	(20.8) G106	(229) G106	(1.34) G41	(0.927) G41	(1.307) G9	(0.992) G40	(0.237) G41	(1211) G67	(1215) G40	(1279) G110	(65) G65	(1100) G9	(1558) G12	8
(6.52) G79	(21.1) G44	(232) G44	(1.34) G75	(0.925) G75	(1.298) G106	(0.991) G67	(0.242) G75	(1200) G40	(1214) G67	(1259) G10	(68) G96	(1098) G106	(1558) G68	9
(6.94) G50	(23.6) G37	(260) G37	(1.34) G28	(0.924) G28	(1.292) G44	(0.990) G4	(0.246) G28	(1193) G4	(1213) G4	(1243) G31	(73) G75	(1088) G44	(1540) G35	10
(7.02) G60	(26.5) G40	(292) G40	(1.34) G65	(0.921) G65	(1.233) G37	(0.982) G5	(0.254) G65	(1183) G5	(1209) G5	(1235) G4	(75) G28	(1038) G37	(1532) G19	11
(7.22) G98	(26.9) G105	(296) G105	(1.33) G80	(0.919) G80	(1.233) G40	(0.978) G81	(0.260) G80	(1152) G41	(1207) G81	(1235) G5	(88) G41	(1038) G40	(1513) G2	12
(7.24) G93	(27.1) G9	(298) G9	(1.33) G80	(0.910) G17	(1.218) G19	(0.974) G46	(0.290) G17	(1151) G105	(1204) G46	(1230) G40	(90) G17	(1025) G19	(1505) G54	13
(7.24) G43	(27.5) G27	(302) G27	(1.32) G17	(0.884) G22	(1.212) G105	(0.938) G54	(0.375) G22	(1148) G54	(1182) G54	(1219) G68	(103) G22	(1020) G105	(1488) G5	14
(7.6) G100	(27.6) G88	(304) G88	(1.28) G22	(0.882) G88	(1.200) G88	(0.928) G31	(0.380) G88	(1145) G96	(1175) G31	(1217) G67	(135) G88	(1010) G88	(1463) G4	15

اعداد داخل پارانتز مقدار عددی شاخص‌ها هستند. Yp: عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی، Ys: عملکرد دانه تحت شرایط دیم، TOL: شاخص تحمل، MP میانگین تولید، GMP: میانگین هندسی تولید، HM: میانگین هارمونیک، SSI: شاخص حساسیت به تنش، STI: شاخص تحمل تنش، YI: شاخص عملکرد، YSI شاخص پایداری عملکرد، RSI: شاخص نسبی تنش، SR: مجموع رتبه‌ها، AR: میانگین رتبه‌ها و SD: انحراف معیار رتبه‌ها

The numbers in parentheses are the numerical values of the indices. Yp: grain yield under supplementary irrigation condition, Ys: grain yield under rain-fed conditions, TOL: Tolerance index, MP: Mean productivity, GMP: Geometric mean productivity, HM: Harmonic mean, SSI: Stress susceptibility index, STI: Stress tolerance index, YI: Yield index, YSI: Yield stability index, RSI: Relative stress index, SR: Sum ranks, AR: Average of ranks, and SD: Standard deviation

نتیجه‌گیری کلی

تولید گندم زمستانه دیم برای برخی از مناطق جغرافیایی ایران از جمله شمال‌غرب کشور بسیار مهم است و آسیب‌پذیری در برابر تغییرات آب و هوایی جهانی را کاهش می‌دهد. در مطالعه حاضر، از ۱۱۰ ژنوتیپ گندم زمستانه از منشاهای مختلف، تنها تعداد کمی با ژنوتیپ‌های مورد استفاده در مطالعات قبلی هم‌پوشانی داشتند. بنا بر این، بیشتر اطلاعات مطالعه حاضر برای جامعه به‌نژادی گندم زمستانه دیم جدید است. نتایج این پژوهش نشان دادند که در میان ژنوتیپ‌ها تنوع قابل قبولی برای صفات زراعی و فیزیولوژیکی تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی وجود داشت. این صفات تمایز روشنی بین منشا ژنوتیپ‌ها ایجاد نکرد و لازم است در مطالعات آتی از داده‌های چند محیطی و نشانگرهای مولکولی برای رمزگشایی تنوع استفاده گردد. یک لاین دیم با منشاء داخلی (ژنوتیپ شماره ۸) در کنار دو لاین خارجی انتخابی از آزمایشات مرکز CIMMYT یعنی ژنوتیپ‌های شماره ۶۷ و ۱۱۰ بر اساس میانگین رتبه‌های به‌دست آمده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش، مطلوب‌ترین و متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. علاوه بر عملکرد دانه و تحمل به خشکی، این ژنوتیپ‌ها از نظر سایر صفات از جمله اجزای عملکرد نیز وضعیت بهتری داشتند؛ بنا بر این، می‌توانند در برنامه‌های تلاقی آینده مورد استفاده قرار گیرند.

References

Alipour, H., Abdi, H., & Bihamta, M.R. (2020). Assessment of growing degree-days values of phenological stages in some Iranian bread wheat cultivars and landraces. *Journal of Crop Breeding*, 12 (34):71-82. http://dx.doi.org/10.29252/jcb.12.34.71. [In Persian]

Alipour, H., Bihamta, M.R., Mohammadi, V., Peyghambari, S.A., Bai, G., & Zhang, G. (2017). Genotyping-by-sequencing (GBS) revealed molecular genetic diversity of Iranian wheat landraces and cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1293. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01293

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

Attia, M. A. E. H., Abou El-Enin, M. M., Abou Tahoun, A. M., Abdelghany, F. I., & El-Serafy, R. S. (2022). Productivity of some barley cultivars as affected by supplemental irrigation under rainfed conditions. *Australian Journal of Crop Science*, *16*(5), 665-3. https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.05.p3647

Avarsegi, H., Khodarahmi, M., Diyanat, M., Majidi Heravan, E., & Soughi, H. (2023). Grouping bread wheat cultivars based on agronomic characteristics using multivariate statistical methods. *Journal of Crop Breeding*, 14 (44):239-252. https://doi.org/10.52547/jcb.14.44.239. [In Persian]

Bidinger, F. R., Mahalakshmi, V., & Rao, G. D. P. (1987). Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). II. Estimation of genotype response to stress. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38(1), 49-59. https://doi.org/10.1071/AR9870049

Bouslama, M., & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933-937. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x

Devkota, M., Devkota, K. P., Karrou, M., & Nangia, V. (2023). Genotype and agronomic management interaction to enhance wheat yield and water use efficiency in the Mediterranean rainfed environment of Morocco: I. Field data analysis. *European Journal of Agronomy*, 151, 126972. https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126972

Etminan, A., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Shooshtari, L., Yousefiazarkhanian, M., & Moradkhani, H. (2019). Determining the best drought tolerance indices using artificial neural network (ANN): Insight into application of intelligent agriculture in agronomy and plant breeding. *Cereal Research Communications*, 47, 170-181. https://doi.org/10.1556/0806.46.2018.057

Fernandez, G.C.J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In C. G. Kuo [ed.], Adaptation of food crops to temperature and water stress, 257–270. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan.

Fischer, R. A., & Wood, J. T. (1979). Drought resistance in spring wheat cultivars. III. Yield associations with morpho-physiological traits. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30(6), 1001-1020. https://doi.org/10.1071/AR9791001

Fischer, R.A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-907. https://doi.org/10.1071/AR9780897

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R.G., Ricciardi, G.L., & Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(4), 523-531. https://doi.org/10.4141/P96-130

Karsai, I., Vida, G., Petrovics, S., Petcu, E., Kobiljski, B., Ivanovska, S., Bedő, Z., & Veisz, O. (2012). Assessment of the spatial genotypic and phenotypic diversity present in the various winter wheat breeding programs in Southeast Europe. *Euphytica*, 186, 139-151. https://doi.org/10.1007/s10681-011-0510-2

Khodadadi, M., Fotokian, M. H., & Miransari, M. (2011). Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on cluster and principal component analyses for breeding strategies. *Australian Journal of Crop Science*, 5(1), 17-24.

Kumar, P., Gill, H.S., Singh, M., Kaur, K., Koupal, D., Talukder, S., Bernardo, A., Amand, P.S., Bai, G., & Sehgal, S.K. (2024). Characterization of flag leaf morphology identifies a major genomic region controlling flag leaf angle in the US winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 137(9), 1-17. https://doi.org/10.1007/s00122-024-04701-1

Lage, J., Trethowan, R. M., & Hernandez, E. (2008). Identification of site similarities in western and central Asia using CIMMYT international wheat yield data. *Plant Breeding*, *127*(4), 350-354. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2007.01411.x

Lan, Y., Chawade, A., Kuktaite, R., & Johansson, E. (2022). Climate change impact on wheat performance—effects on vigour, plant traits and yield from early and late drought stress in diverse lines. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(6), 3333. https://doi.org/10.3390/ijms23063333

Liakat Ali, M., McClung, A. M., Jia, M. H., Kimball, J. A., McCouch, S. R., & Eizenga, G. C. (2011). A rice diversity panel evaluated for genetic and agro-morphological diversity between subpopulations and its geographic distribution. *Crop Science*, *51*(5), 2021-2035. https://doi.org/10.2135/cropsci2010.11.0641

Lüttringhaus, S., Gornott, C., Wittkop, B., Noleppa, S., & Lotze-Campen, H. (2020). The economic impact of exchanging breeding material: assessing winter wheat production in Germany. *Frontiers in Plant Science*, 11, 601013. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601013

Mazloumi, H., Pirdashti, H., Ahmadpour, A., & Hosseini, S.J. (2020). Grouping of advanced wheat lines based on yield and its components. *Journal of Crop Breeding*, 12(35), 41-53. http://dx.doi.org/10.52547/jcb.12.35.41. [In Persian]

Mohammadi, M., Karimizadeh, R., & Abdipour, M. (2011). Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(4), 487-493.

Mohammadi, S. (2014). Evolution of grain yield and its components relationships in bread wheat genotypes under full irrigation and terminal water stress conditions using multivariate statistical

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]

analysis. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(33), 99-109. https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36646. [In Persian]

Mosalam, M., Nemr, R. A., Aljabri, M., Said, A. A., & El-Soda, M. (2025). Exploring genomic loci and candidate genes associated with drought tolerance indices in spring wheat evaluated under two levels of drought. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 408. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06413-0

Motamedi, M., & Safari, P. (2019). Evaluation of water deficient stress tolerance in some wheat cultivars and their hybrids using canonical discriminant analysis and genotype by trait biplot. *Journal of Crop Breeding*, 11(29):104-116. https://doi.org/10.29252/jcb.11.29.104. [In Persian]

Nyaupane, S., Poudel, M.R., Panthi, B., Dhakal, A., Paudel, H., & Bhandari, R. (2024). Drought stress effect, tolerance, and management in wheat–a review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2296094. https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2296094

Pandey, A., Khobra, R., Mamrutha, H.M., Wadhwa, Z., Krishnappa, G., Singh, G., & Singh, G.P. (2022). Elucidating the drought responsiveness in wheat genotypes. *Sustainability*, 14(7), 3957. https://doi.org/10.3390/su14073957

Pour-Aboughadareh, A., Yousefian, M., Moradkhani, H., Moghaddam Vahed, M., Poczai, P., & Siddique, K.H. (2019). iPASTIC: An online toolkit to estimate plant abiotic stress indices. *Applications in Plant Sciences*, 7(7), e11278. https://doi.org/10.1002/aps3.11278

Rabieyan, E., Bihamta, M. R., Moghaddam, M. E., Alipour, H., Mohammadi, V., Azizyan, K., & Javid, S. (2023). Analysis of genetic diversity and genome-wide association study for drought tolerance related traits in Iranian bread wheat. *BMC Plant Biology*, 23(1), 431. https://doi.org/10.1186/s12870-023-04416-3

Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G., & Perrotta, C. (2006). Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell & Environment*, 29(12), 2143-2152. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01588.x

Reynolds, M. P., Mujeeb-Kazi, A., & Sawkins, M. (2005). Prospects for utilising plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought-and salinity-prone environments. *Annals of Applied Biology*, 146(2), 239-259. https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.040058.x

Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment 1. *Crop Science*, 21(6), 943-946. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x

Safari, P., MogaddamVahed, M., Alavikia, S. S., & Norouzi, M. (2018). Evaluation of water deficient stress tolerance in spring wheat lines using canonical discriminant analysis. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, *12*, 126-133.

Salarpour, M., Abdolshahi, R., Pakniyat, H., Heidari, B., & Aminizadeh, S. (2021). Mapping quantitative trait loci for drought tolerance/susceptibility indices and estimation of breeding values of doubled haploid lines in wheat (*Triticum aestivum*). *Crop and Pasture Science*, 72(7), 500-513. https://doi.org/10.1071/CP20526

Singh, S., Singh, G., Singh, P., & Singh, N. (2008). Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat varieties. *Food Chemistry*, 108(1), 130-139. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.054

Tadesse, W., Sanchez-Garcia, M., Assefa, S.G., Amri, A., Bishaw, Z., Ogbonnaya, F.C., & Baum, M. (2019). Genetic gains in wheat breeding and its role in feeding the world. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 1(1), e190005. https://doi.org/10.20900/cbgg20190005

Tavana, S., & Saba, J. (2016). Grouping wheat lines and their group selection under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding*, 8(20), 159-164. [In Persian]

Wang, Q., Wu, Y., Ozavize, S. F., Qiu, C. W., Holford, P., & Wu, F. (2024). Genotypic differences in morphological, physiological and agronomic traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to drought. *Plants*, 13(2), 307. https://doi.org/10.3390/plants13020307

Whittal, A., Kaviani, M., Graf, R., Humphreys, G., & Navabi, A. (2018). Allelic variation of vernalization and photoperiod response genes in a diverse set of North American high latitude winter wheat genotypes. *Plos One*, 13(8), e0203068. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203068

[DOI: 10.61882/jcb.2025.1605]