

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 Vahed¹, Iraj Bernousi² , Mozaffar Roustaei³ and Hadi Alipour⁴

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



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



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 پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۷

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱
صفحه ۱۰۴ تا ۱۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۰

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 عدم پراکنش 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 آلفا لاتیس با دو تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور واقع در شهرستان مراغه طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ 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 سبزیگی با استفاده از 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 منشأ ژنوتیپ‌های گندم در نرم‌افزار SPSS 26 انجام گرفت. جهت گزینش ژنوتیپ‌های متحمل از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش (RSI، YSI، YI، STI، SSI، HM، GMP، MP، TOL) استفاده شد.

یافته‌ها: میزان سبزیگی 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 منشأ 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 عمدتاً در گروه چهارم بودند. از طرفی دیگر، در شرایط دیم اغلب ژنوتیپ‌ها با منشأ ارقام متحمل به تنش خشکی، توده‌های بومی و لاین‌های موسسه CIMMYT در گروه چهارم قرار گرفتند. نتایج تجزیه تابع تشخیص کانونیکی براساس منشأ 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 YSI، SSI 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 منشأ 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 قرار گیرند.

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

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). به دلیل افزایش جمعیت جهان، تقاضای غذا در حال افزایش است. این وضعیت به دلیل 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، علاوه بر افزایش رو به رشد 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 نه تنها باعث کاهش قابل توجه 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 می‌تواند عملکرد گندم را به شدت در دیم‌زارها تحت تأثیر 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 می‌تواند الگوهای متعددی از گروه‌بندی را در میان آن‌ها ایجاد نمایند. چنین گروه‌بندی در انتخاب والدین برای برنامه‌های اصلاحی آبی 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 منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد دانه بیشتر شود. اورسجی و همکاران (Avarsegi et al., 2023) ارقام گندم نان را بر مبنای 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 منشاهای 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).

جدول ۱- اطلاعات ژنوتیپ‌های گندم مورد مطالعه

Table 1. Information of the studied wheat genotypes

منشاء (Origin)	نام/شجره (Name/Pedigree)	كد (Code)
Iran	Baran	1
Iran	Rasad	2
Iran	Azar2	3
Iran	Ohadi	4
IWWIP	Tak-Ab	5
Iran	Homa	6
Iran	Sardari	7
Iran	PMF/MAYA/YACO/3/CO693591/CTK/4/Trakia/Maga"s/74/Mon"s/3/Shahi /5/Kohdasht/82 (CB-R5)	8
Iran	IRBW 05- 064-OMAR-0SHI-OMAR-3MAR-3MAR	9
Iran	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	10
Iran	Fengkang15/Sefid/4/Dari-16/3/Hd2172/Bloudau//Azadi /5/10 GHAZAGESTAN 98-99/Zagros IRBW 05- 099-OMAR-0SHI-OMAR-5MAR-2MAR	11
Iran	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	12
Iran	CH94878/BLOYKA/3/TX81V6614//SERI*3/BUC ICWH99-0468-0AP-2AP-2AP-0AP-1AP-0AP	13
IWWIP	DYBR198283/842ABVD.C50/4/PJ/HN4//GLL/3/SERI TC1011056	14
Iran	Vorona/Parus//Hatusha/3/Lut112/4/Pehl//Rpb8-68//Chrc	15
Iran	Ghafghaz//F9.10/Maya"S"/3/Ebvd99-1 IRW2000-01 - 141-OMA	16
Iran	Saein	17
Iran	Hashtrood	18
Iran	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	19
Iran	Fengkang15/Sefid/4/Dari-16/3/Hd2172/Bloudau//Azadi /5/10 GHAZAGESTAN 98-99/Zagros IRBW 05- 099-OMAR-0SHI-OMAR-2MAR-1MAR	20
Iran	Sadra	21
Iran	SPII Genebank Collection -2010- 30	22
Iran	SPII Genebank Collection -2010- 110	23
Iran	SPII Genebank Collection -2010- 222	24
Iran	SPII Genebank Collection -2010- 260	25
Iran	SPII Genebank Collection -2010- 288	26
Iran	SPII Genebank Collection -2010- 304	27
Iran	SPII Genebank Collection -2010- 396	28
Iran	KATIA1/MV18-2000 IRW 05-06-32-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	29
IWWIP	KS82W409/SPN//TAM106/TX78V3630	30
IWWIP	CTY*3/TA2460//SHARK/F4105W2.1/3/SHARK/F4105W2.1 TC1022096-0E-0E-1E-0E -3YA -0E	31
IWWIP	RAN/NE701136//CI13449/CTK/3/CUPE/4/TAM200/KAUZ/5/BWD TC1012234-030YE-30E-5E-0E-1E-0E	32
IWWIP	Antonisis	33
IWWIP	BILINMIYEN 881	34
IWWIP	KS97W0935-29-15/SHARK-1/5/VEE/TSI//GRK/3/NS5503/5/C12615/COFN/3/N10B/P14//P101/4/KRC67	35
IWWIP	RAN/NE701136//CI13449/CTK/3/CUPE/4/TAM200/KAUZ/5/BWD	36
IWWIP	KS98HW220-5-1(ARLIN/YUMA)/KS01HW162(TGO/BTY SIB)	37
IWWIP	SABALAN/ALTAY	38
Iran	Azar2/87Zhong291-9	39
IWWIP	ATTILA*2/PBW65//YAKAR	40
IWWIP	KS84170E-8/KARL//AUBURN*2157_PAR/2165	41
IWWIP	GRISSET-16	42
IWWIP	W99-331/97x0906-8	43
Iran	SAR-101	44
Iran	Sardari (92-93)- 18	45
Iran	Sardari (92-93)- 26	46
Iran	Sardari (92-93)- 48	47
Iran	Sardari (92-93)- 49	48
Iran	Sardari (92-93)- 51	49
Iran	Sardari (92-93)- 62	50
Iran	Sardari (92-93)- 84	51
Iran	DAGDASH/PASTOR IRW 05-06-72-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	52
Iran	SABALAN//SHUHA-1/DORG-1 IRW 05-06-64-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	53
Iran	CHAM-8/BOCRO-3//SONALIKA IRW 05-06-198-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	54
Iran	SAULESKU #44/TR810200//PAVON (dwarf) IRW 05-06-122-OMAR-OMAR-OQAM-OMAR	55
Iran	BUCUR/4/CROC-1/AE.SQUARROSA (205)// KAUZ/3/SASIA IRW 05-06-297-OMAR-OMAR-OQAM-OMAR	56
Iran	SAULESKU #44/TR810200//PAVON (tall) IRW 05-06-123-OMAR-OMAR-OQAM-OMAR	57
Iran	ZAGROS/4/CROC-1/AE.SQUARROSA (205)// KAUZ/3/SASIA IRW 05-06-142-OMAR-OMAR-OSAR-OMAR	

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	J15418/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/C114123/3/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_OMAR	Iran
92	PAVON (dwarf)/KAUZ (tall) IRW 05-06-84-OMAR-OMAR_OMAR	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_OMAR	Iran
94	ZARGANA-3//JUN/BOMB IRW 05-06-333-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
95	SOROCA//SAULESKU #44/TR810200 IRW 05-06-171-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
96	SOROCA//SAULESKU #44/TR810200 IRW 05-06-171-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
97	SERI 82/SHUHA'S//GRU90-204782/3/SARDARI/KAU"s"NAO IRW 05-06-210-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
98	ALTAY/GAHAR IRW 05-06-41-OMAR-OMAR_OMAR	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_OMAR	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_OMAR	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_OMAR	Iran
102	GAHAR/3/KAUZ/PASTOR//PASTOR*2/OPATA IRW 05-06-145-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
103	GAHAR/3/KAUZ/PASTOR//PASTOR*2/OPATA IRW 05-06-145-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
104	KOHDASHT//37032 TURKEY/DARI-8 IRW 05-06-149-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
105	BEZ/ALTAY IRW 05-06-14-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
106	BEZ/ALTAY IRW 05-06-14-OMAR-OMAR_OMAR	Iran
107	Azar-2/Ardabil 82 - 33 IRBW07-23-54-20 IRBW07-23-54-20-OSAR-OSAR_OMAR	Iran
108	Sardari/Ardabil 82 - 33 IRBW07-23-54-36 IRBW07-23-54-36-OSAR-OSAR_OMAR	Iran
109	ATTILLA//VORONA/TR810200	IWWIP
110	MV14-2000//SHARK/F4105W2.1	IWWIP

IWWIP: International Winter Wheat Improvement Program

Fischer & (1987)، شاخص حساسیت به تنش (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 آنالین 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 آنجایی که 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.

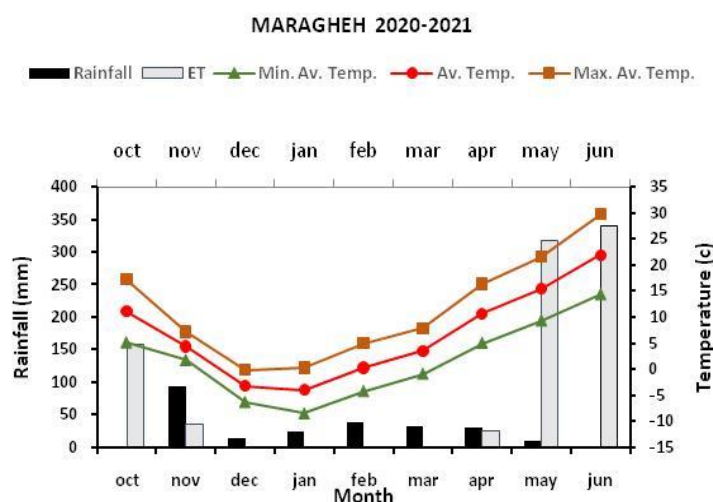
این ژنوتیپ‌ها در قالب طرح آزمایشی آلفا لاتیس در دو تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور واقع در شهرستان مراغه (عرض جغرافیایی $37^{\circ}16'12''$ شمالی و طول جغرافیایی $46^{\circ}27'36''$ شرقی و ۱۷۲۰ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد) طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ کشت و براساس خصوصیات زراعی، فنولوژیکی و فیزیولوژیکی ارزیابی گردیدند. پارامترهای آب و هوایی ایستگاه مراغه طی سال زراعی مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده‌اند. میانگین بارندگی بلندمدت ایستگاه مراغه $350/78$ 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 $17/5$ سانتی‌متر ($5/25$ 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 پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده^۱ 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 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 هارمونیک (Fernandez, 1992)، میانگین هارمونیک (Biding et al., 1992).

¹ Normalized difference vegetation index



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**	-0.07 ^{ns}	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**	0.18 ^{ns}	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

*, **, 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

موجود در گروه سوم از بیشترین میانگین برای این صفات برخوردار بودند. تقریباً در هر دو شرایط محیطی، گروه‌های به‌وجود آمده تمایز روشنی از نظر برخی از صفات از جمله مراحل فنولوژیک، میزان سبزیگی و شاخص برداشت نداشتند (جدول ۳).

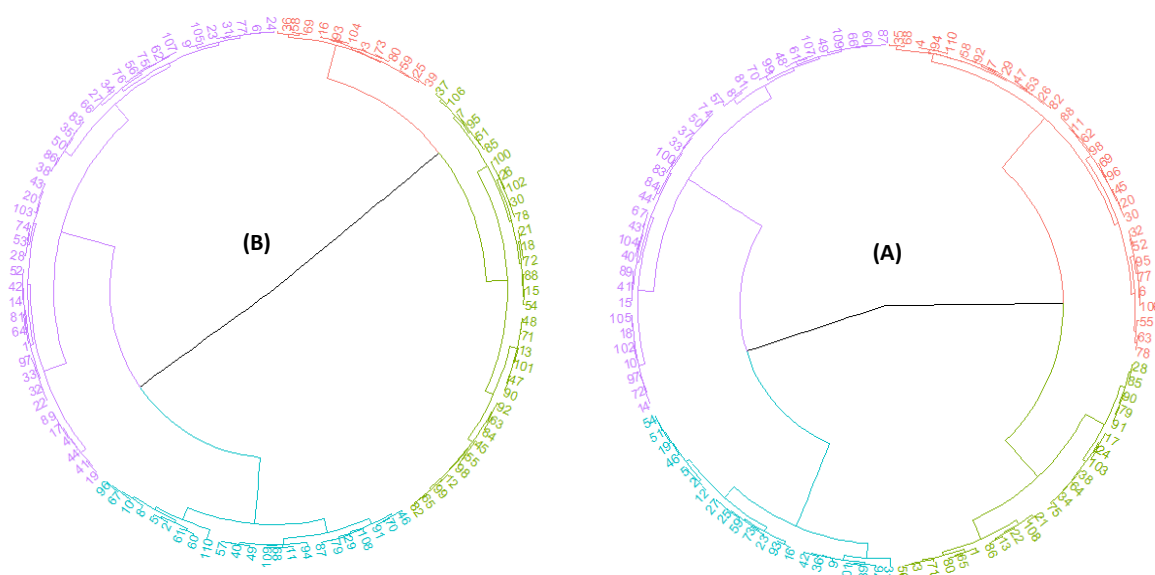
بررسی توزیع منشاء ژنوتیپ‌ها در دندروگرام تجزیه خوشه‌ای حاکی از آن بود که تحت شرایط آبیاری تکمیلی، ارقام متحمل به تنش خشکی و توده‌های بومی به‌جز گروه چهارم در سایر گروه‌ها حضور داشتند ولی مورفوتیپ‌های سرداری عمدتاً در گروه چهارم بودند. همچنین، اغلب لاین‌های دیم و لاین‌های موسسه CIMMYT در گروه‌های اول 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،

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 شاخص برداشت 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 سبزیگی 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

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.

داده‌های حاصل از خزانه‌های مختلف برای بهبود درک از ارتباطات مکانی در سراسر غرب و مرکز آسیا به نفع 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 منشاهای برنامه‌های اصلاحی مختلف در یک خوشه مشابه قرار می‌گیرند (Karsai *et al.*, 2012). به نظر می‌رسد که انجام آزمایشات چندمحیطی و یا



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	191.8 ^a	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 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

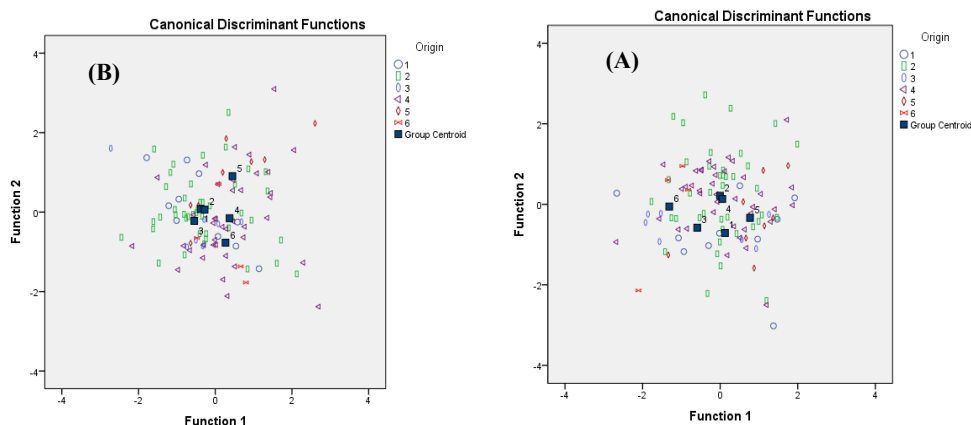
In each row, means with different letters are significantly different according to Duncan's test. DF: Days to flowering, DM: Days to maturity, GFP: Grain-filling period, NDVI1: Normalized difference vegetation index at the spike emergence stage, NDVI2: Normalized difference vegetation index in three weeks after anthesis, PH: Plant height, GY: Grain yield, BY: Biological yield, HI: Harvest index, and TKW: Thousand-kernel weight

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

تجزیه تابع تشخیص کانونیکی

هیبریدهای آن‌ها گزارش کردند که دو متغیر کانونیک سه گروه را متمایز کرد. در مطالعه‌ای دیگر، نتیجه‌گیری شد که تجزیه تابع تشخیص کانونیک توانایی تشخیص زیرگروه‌ها را داشت (Alipour *et al.*, 2020). به طور کلی، تجزیه تابع تشخیص کانونیک 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). صفی و همکاران (Safari *et al.*, 2018) در ارزیابی تحمل به تنش کم‌آبی لاین‌های گندم نان اظهار داشتند که متغیر کانونیک اول، ژنوتیپ‌ها را بر اساس پتانسیل عملکرد دانه و تحمل به تنش خشکی متمایز کرد، در حالی که متغیر کانونیک دوم، ژنوتیپ‌های متحمل به تنش را از انواع حساس تفکیک نمود.

این تصویر، مقادیر میانگین متغیرهای کانونیک 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 کانونیک 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



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 کانونیک 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

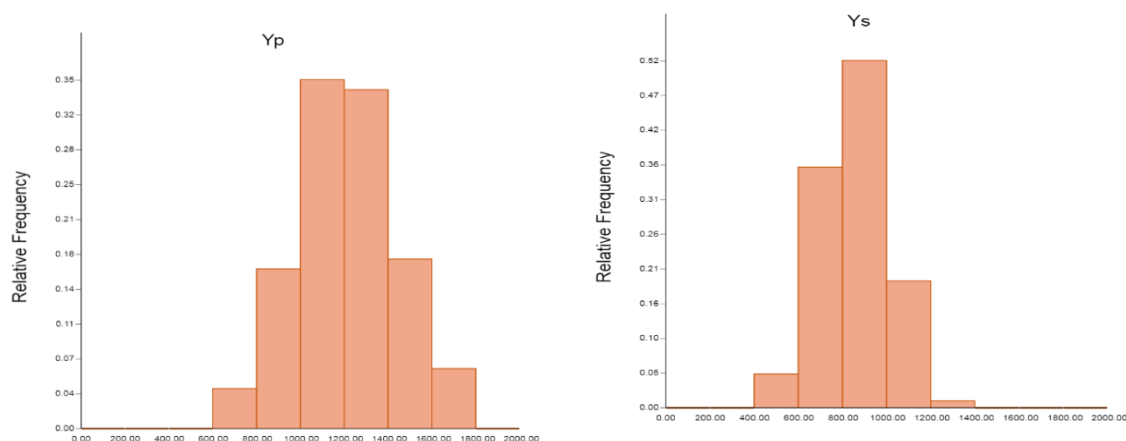
های حساسیت به تنش (SSI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI) و شاخص نسبی تنش (RSI) متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. در نهایت، ژنوتیپ‌های ۱۱۰، ۶۷ و ۸ از مجموع رتبه (SR) و میانگین رتبه (AR) بالایی برخوردار بودند و در مجموع، تمام شاخص‌ها مطلوب بودند. ژنوتیپ‌های ۱۱، ۱۶ و ۲۹ نیز انحراف معیار (SD) کمتری در رتبه خود نشان 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 به دلیل 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

گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی

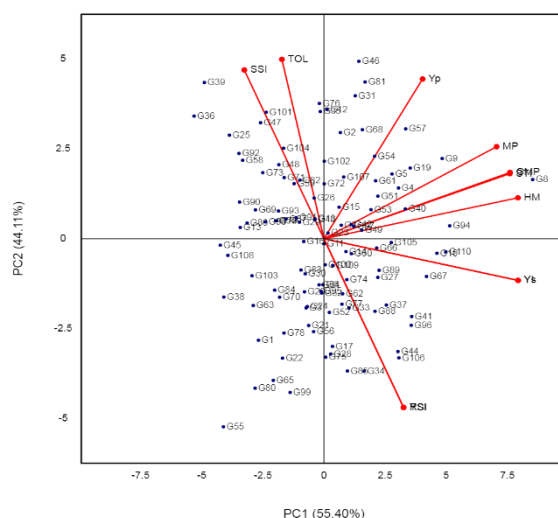
شکل ۴ فراوانی نسبی عملکرد دانه در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌گردد، میانگین‌های کل عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها کاهش ۴۰ درصدی را در نتیجه شرایط تنش تجربه کردند. در همین رابطه، گزارش شده است که آبیاری تکمیلی شکاف عملکرد تحت شرایط دیم را ۲/۱۲ الی ۳/۲۷ تن در هکتار کاهش می‌دهد (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 شاخص-

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.

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).



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- بای پلات 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

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	Y _s (kg/h)	Y _p (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 پارانتر مقدار عددی شاخص‌ها هستند. Y_p: عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی، Y_s: 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. Y_p: grain yield under supplementary irrigation condition, Y_s: 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 منشاءهای 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>

- 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

- 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>
- Whittall, 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>