

## Selection of promising durum wheat lines based on grain yield and yield stability using graphic methods and quality indexes

Tohid Najafi Mirak<sup>1</sup>, Manouchehr Dastfal<sup>2</sup>, Shahryar Sasani<sup>3</sup>, Manouchehr Sayyahfar<sup>4</sup>, Hossein Farzadi<sup>5</sup>, Fariba Naghipour<sup>6</sup>, Hassan Zali<sup>\*7</sup>

1. Professor, Seed and Plant Improvement Department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: [tnmirak@yahoo.com](mailto:tnmirak@yahoo.com)
2. Res. Instructor, Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran. Email: [mdastfall@yahoo.com](mailto:mdastfall@yahoo.com)
3. Associate Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran. Email: [shahryarsasani@gmail.com](mailto:shahryarsasani@gmail.com)
4. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran. Email: [sayyahfar@gmail.com](mailto:sayyahfar@gmail.com)
5. Res. Instructor, Crop and Horticultural Science Research Department, Dezful Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran. Email: [Farzadi\\_hossein@yahoo.com](mailto:Farzadi_hossein@yahoo.com)
6. Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. Email: [faribanaghipour@yahoo.com](mailto:faribanaghipour@yahoo.com)
7. Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Darab, Iran. Email: [Hzali90@yahoo.com](mailto:Hzali90@yahoo.com)

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 2023-1-24  
Revised:  
Accepted: 2023-7-14

### Keywords:

Genotype × environment interaction  
GGE Biplot  
Heat map  
Qualitative characteristics  
Multivariate methods

### ABSTRACT

**Background and objectives:** Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) is an industrial and agricultural product that is mainly used in pasta production industries. One of the important goals of durum wheat breeding programs is to produce high-yielding cultivars that have suitable characteristics for cultivation in different regions of the country. Therefore, the purpose of this research was to investigate the genotype × environment interaction using GGE biplot graphic method in durum wheat promising lines and to identify and introduce lines with economic and stable yield for introduction and cultivation in different regions of the country.

**Materials and methods:** In this experiment, 18 promising lines of durum wheat with two check Hana and Aran in five research stations of Karaj, Kermanshah, Khorramabad, Dezful and Darab (under two conditions of normal irrigation and irrigation cutting during the flowering stage) were cultivated and compared in the form of randomized complete blocks design in three replications and in two cropping seasons (2019-2021).

**Results:** The results of two-year combined variance analysis for grain yield under normal irrigation conditions in five research stations of Darab, Dezful, Khorramabad, Karaj and Kermanshah and dry conditions at the end of the season in Darab showed that the effect of year in both conditions and all stations was significant. In

---

---

normal irrigation conditions, the difference between genotypes grain yield was significant in Darab, Dezful and Kermanshah stations, but not significant in Karaj and Khorramabad stations. Genotype  $\times$  year interaction was significant under normal conditions in Darab and Kermanshah, but not significant in Karaj, Dezful and Khorramabad. Based on the average grain yield, lines G8, G9, G10, G14 and G18 (respectively with the average grain yield of 7725, 7597, 7742, 7661 and 7558 Kg ha<sup>-1</sup>) were superior to the controls. According to the GGE biplot, three large environments were identified. The first large environment included Dezful and Khorramabad regions, and G8 and G10 genotypes were among the top genotypes in these two regions, respectively. The second largest environment was Kermanshah and Karaj, and G9 and G14 genotypes were among the top genotypes in these two regions. The third large environment included two test conditions in Darab and the superior genotype in Darab was G18 in both drought stress and non-stress conditions. GGE Biplot results showed that G8 and G10 genotypes were among the most stable lines and also had the highest grain yield. The comparison of the studied lines with the ideal genotype showed that G10 and G8 are the closest genotypes to the ideal genotype, which have the highest grain yield and stability. The results of qualitative characteristics showed that the hardness index average of genotypes was in the range of 57-58% and the promising lines were not significantly different from the control cultivars. G17 genotype had the lowest (14%) and G14 genotype had the highest average of grain yellow berry (45%). Also, a relatively large variation was observed in terms of the amount of wet gluten, so that genotypes G9 and G13 had the lowest and highest amount of wet gluten with 23.8 and 27.3%, respectively.

**Conclusion:** In general, according to the average grain yield and GGE biplot results in both normal and drought conditions and according to some quality characteristics of the grain, lines G8 (D-98-8) and G10 (D-98-10) were selected as the most suitable lines for both normal and dry conditions. These lines will be tested in on-farm yield trials of next crop season and finally one of them will be introduced as a new cultivar.

---

**Cite this article:** Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Sasani, Sh., Sayyahfar, M., Farzadi, H., Naghipour, F., Zali, H. 2023. Selection of promising durum wheat lines based on grain yield and yield stability using graphic methods and quality indexes. *Crop Production Journal*, 16 (3), 91-108.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejcp.2024.21010.2565

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹۴  
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳



### گزینش لاین‌های امیدبخش گندم دوروم با توجه به عملکرد دانه و پایداری عملکرد با استفاده از روش‌های گرافیکی و شاخص‌های کیفیت

توحید نجفی میرک<sup>۱</sup>، منوچهر دست فال<sup>۲</sup>، شهریار ساسانی<sup>۳</sup>، منوچهر سیاح فر<sup>۴</sup>، حسین فرزادی<sup>۵</sup>، فریبا نقی‌پور<sup>۶</sup>، حسن زالی<sup>۷\*</sup>

۱. استاد پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: [tmirak@yahoo.com](mailto:tmirak@yahoo.com)
۲. مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران. رایانامه: [mdastfall@yahoo.com](mailto:mdastfall@yahoo.com)
۳. دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: [shahryarsasani@gmail.com](mailto:shahryarsasani@gmail.com)
۴. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [sayyahfar@gmail.com](mailto:sayyahfar@gmail.com)
۵. مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفا آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران. رایانامه: [Farzadi\\_hossein@yahoo.com](mailto:Farzadi_hossein@yahoo.com)
۶. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: [faribanaghipour@yahoo.com](mailto:faribanaghipour@yahoo.com)
۷. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران. رایانامه: [hzali90@yahoo.com](mailto:hzali90@yahoo.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> گندم دوروم ( <i>Triticum turgidum</i> L. var. durum) محصولی صنعتی و زراعی است که عمدتاً در صنایع تولید ماکارونی استفاده می‌شود. یکی از اهداف مهم برنامه‌های به‌نژادی گندم دوروم تولید ارقام پرمحصول با ویژگی‌های مناسب برای کشت در مناطق مختلف کشور است. بنابراین، هدف از این تحقیق، بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط از طریق روش گرافیکی GGE بای‌پلات در لاین‌های امیدبخش گندم دوروم و شناسایی و معرفی لاین‌های دارای عملکرد اقتصادی و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف کشور بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۴ تاریخ ویرایش: تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۲۳	
واژه‌های کلیدی: برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط روش‌های چند متغیره خصوصیات کیفی نقشه گرمایی GGE بای‌پلات	<b>مواد و روش‌ها:</b> در این تحقیق تعداد ۱۸ لاین امیدبخش گندم دوروم به‌همراه دو شاهد هانا و آران در پنج ایستگاه تحقیقاتی کرج، کرمانشاه، خرم‌آباد، دزفول و داراب (در دو شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و در دو فصل زراعی (۱۳۹۸-۱۴۰۰) کشت و مقایسه شدند.
	<b>یافته‌ها:</b> نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله برای عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال در پنج ایستگاه تحقیقاتی داراب، دزفول، خرم‌آباد، کرج و کرمانشاه و شرایط خشکی آخر فصل در داراب نشان داد که اثر سال در هر دو شرایط و همه ایستگاه‌ها معنی‌دار شد. از نظر عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال نیز اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در ایستگاه‌های داراب، دزفول و کرمانشاه

معنی دار بود، ولی در ایستگاه‌های کرج و خرم‌آباد معنی دار نبود. برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  سال در شرایط نرمال در داراب و کرمانشاه معنی دار، ولی در کرج، دزفول و خرم‌آباد معنی دار نبود. بر اساس میانگین عملکرد دانه، لاین‌های G8، G9، G10، G14 و G18 (به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۷۷۲۵، ۷۵۹۷، ۷۷۴۲، ۷۶۶۱ و ۷۵۵۸ کیلوگرم در هکتار) برتر از شاهد‌ها بودند. با توجه به بای‌پلات GGE، سه محیط بزرگ مشخص گردید. اولین محیط بزرگ شامل مناطق دزفول و خرم‌آباد بود که ژنوتیپ‌های G8 و G10 به ترتیب جزو ژنوتیپ‌های برتر در این دو منطقه بودند. دومین محیط بزرگ دربرگیرنده مناطق کرمانشاه و کرج بود که ژنوتیپ‌های G9 و G14 جزو ژنوتیپ‌های برتر در این دو منطقه بودند. سومین محیط بزرگ شامل دو شرایط اجرای آزمایش در داراب بود و ژنوتیپ برتر در داراب در هر دو شرایط تنش خشکی و شرایط بدون تنش G18 بود. نتایج بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های G8 و G10 جزو پایدارترین لاین‌ها بودند که در ضمن بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه را هم داشتند. مقایسه لاین‌های مورد بررسی با ژنوتیپ ایده‌آل نشان داد که G10 و G8 نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ ایده‌آل می‌باشند که بیش‌ترین عملکرد دانه و پایداری را داشتند. نتایج خصوصیات کیفی نشان داد میانگین درجه سختی ژنوتیپ‌های مختلف در محدوده ۵۷-۵۸ قرار داشت و لاین‌های امیدبخش با ارقام شاهد تفاوت قابل توجهی با هم نداشتند. ژنوتیپ G17 کم‌ترین (۱۴٪) و ژنوتیپ G14 بیش‌ترین درصد لکه آردی دانه (۴۵٪) را داشتند. هم‌چنین، تنوع نسبتاً زیادی از نظر میزان گلوتن مرطوب مشاهده شد به طوری که ژنوتیپ‌های G9 و G13 به ترتیب با ۲۳/۸ و ۲۷/۳ درصد، پایین‌ترین و بالاترین میزان گلوتن مرطوب را دارا بودند.

**نتیجه‌گیری:** در کل با در نظر گرفتن میانگین عملکرد دانه و نتایج GGE بای‌پلات در هر دو شرایط نرمال و خشکی و با در نظر گرفتن برخی از خصوصیات کیفی دانه، لاین‌های G8 (D-98-8) و G10 (D-98-10) به‌عنوان مناسب‌ترین لاین‌ها برای هر دو شرایط نرمال و خشکی انتخاب گردیدند. این لاین‌ها در آزمایشات تحقیقی-ترویجی در شرایط زارعین مورد بررسی بیشتر قرار گرفته و هر کدام از آن‌ها که در مزارع زارعین نیز برتری خود را نشان دهد به‌عنوان رقم جدید معرفی خواهد شد.

**استناد:** نجفی میرک، ت.، دست‌فال، م.، ساسانی، ش.، سیاح‌فر، م.، فرزادی، ح.، نقی‌پور، ف.، زالی، ح. (۱۴۰۲). گزینش لاین‌های امیدبخش گندم دوروم با توجه به عملکرد دانه و پایداری عملکرد با استفاده از روش‌های گرافیکی و شاخص‌های کیفیت. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۶ (۳)، ۱۰۸-۹۱.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.21010.2565

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



© نویسندگان.

## مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) محصولی صنعتی و زراعی است که عمدتاً در صنایع تولید ماکارونی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اهمیت این نوع گندم به‌واسطه خصوصیتی است که آرد آن دارد به‌گونه‌ای که آن را مناسب تهیه انواع ماکارونی و اسپاگتی می‌نماید (۱). یکی از اهداف مهم برنامه‌های به‌نژادی این محصول تولید ارقام پرمحصول که دارای ویژگی‌های مناسبی برای کشت در مناطق مختلف کشور باشند (۲).

موفقیت در برنامه‌های به‌نژادی برای صفات کمی در گیاهان زراعی مختلف وابسته به وجود برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط است و هر چه این برهم‌کنش شدیدتر باشد، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس فنوتیپ آن‌ها مشکل‌تر خواهد بود. برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌علت وجود برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط، ارزیابی ارقام جدید در محیط‌های مختلف توسط به‌نژادگران یک ضرورت محسوب می‌شود (۳).

به‌طور کلی روش‌های تجزیه پایداری به روش‌های تک متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند (۴). در تجزیه‌های چند متغیره مانند تجزیه AMMI<sup>۱</sup> (۵) و GGE (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط)<sup>۲</sup> (۶) پاسخ و واکنش یک ژنوتیپ در چند محیط مختلف ممکن است در یک فضای چندبُعدی توصیف شود و لذا این روش‌ها می‌توانند تفسیر آزمایش‌های یکنواخت سراسری عملکرد را ساده‌تر کنند و ارتباط پیچیده و مرکب بین مکان‌ها، ژنوتیپ‌ها و یا بین هر دو را به دقت توسط یک دیاگرام پراکنش توضیح دهند. روش GGE بای‌پلات یکی از روش‌های نوین در بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط بوده که در آن اثر ژنوتیپ

و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط از هم تفکیک نشده و گزینش رقم‌های پایدار براساس هر دو اثر مذکور صورت می‌گیرد (۶). آنچه که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حائز اهمیت است، این می‌باشد که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست. لذا، حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط حائز اهمیت است (۷). تنها اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط است که در گزینش لاین‌های پایدار اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط می‌بایست به‌صورت توأم بررسی شوند. روش GGE بای‌پلات این امکان را می‌دهد که این دو اثر هم‌زمان و به‌صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند (۸).

تغییر در رتبه ارقام در پاسخ به شرایط محیطی (برهم‌کنش متقاطع یا هم‌بر) و تغییر در مقدار پاسخ به شرایط محیطی بدون تغییر در رتبه (برهم‌کنش نامتقاطع یا ناهم‌بر) دو جزو مهم برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط محسوب می‌شوند که پی بردن به نوع هر کدام از آن‌ها در مجموع مربعات برهم‌کنش می‌تواند سهم بسزایی در طرح‌ریزی استراتژی به‌نژادی داشته باشد. برهم‌کنش متقاطع پیچیده‌ترین تیپ برهم‌کنش در گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها در یک برنامه به‌نژادی است (۹). محدودیت مدل AMMI این است که نمی‌تواند بین برهم‌کنش متقاطع (تغییر رتبه وارسته‌ها در محیط‌های مختلف) و برهم‌کنش نامتقاطع را از یکدیگر تمیز دهد. تجزیه رگرسیون مکانی می‌تواند برهم‌کنش متقاطع را از نامتقاطع تمیز دهد. در واقع برای تعیین برهم‌کنش متقاطع بایستی هم اثر ژنوتیپ (عملکرد) و هم برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط مورد توجه قرار گیرند. این مطلب دلالت دارد بر این‌که تحقیق پیرامون برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط وقتی اهمیت بیش‌تری دارد که در ارتباط با اثر ژنوتیپ مورد توجه قرار گیرد (۱۰).

<sup>1</sup> The additive main effect and multiplication interaction

<sup>2</sup> Genotype + Genotype × environment

کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضد عفونی گردید. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین گردید. کشت به صورت جوی و پشته و آبیاری به صورت نشتی انجام گرفت. کود پتاس از منبع سولفات پتاس و کود فسفر از منبع فسفات آمونیوم به صورت پایه و کود ازته از منبع اوره به صورت پایه و سرک به مصرف رسید. هر کرت آزمایشی شامل ۶ خط ۵ متری به فاصله ۲۰ سانتی متر بود. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ، مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر به ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن استفاده شد.

پس از برداشت و توزین دانه، جهت تعیین خصوصیات کیفی لاین‌ها، مقدار یک کیلوگرم از هر رقم و لاین به آزمایشگاه شیمی و تکنولوژی غلات کرج ارسال و خصوصیات کیفی از قبیل درصد سختی دانه، درصد پروتئین، درصد لکه آردی و درصد گلوتن مرطوب تعیین گردید.

**اندازه‌گیری پروتئین و سختی دانه:** به منظور ارزیابی میزان پروتئین و سختی دانه هریک از نمونه‌های گندم از دستگاه NIR (Pertent)، ساخت کشور سوئد مطابق با استاندارد ICC<sup>۳</sup> شماره ۱۵۹ استفاده شد. برای انجام این آزمون از آرد کامل استفاده گردید.

**اندازه‌گیری گلوتن مرطوب:** جهت انجام این آزمون بر روی نمونه‌های آرد کامل، از استاندارد AACC شماره ۱۱-۳۸ و دستگاه گلوتن‌شوی (Pertent)، ساخت کشور سوئد استفاده شد و میزان گلوتن مرطوب بر حسب درصد و اندیس گلوتن گزارش گردید.

محققان زیادی روش GGE بای‌پلات را روشی کارا برای بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط معرفی نموده‌اند و بیان داشته‌اند که این روش اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها و محیط‌های تحت بررسی در اختیار محقق قرار می‌دهد (۴، ۱۱، ۹، ۱۲، ۱۳، ۱۴). نجفی میرک و همکاران (۱۲) با استفاده از روش GGE بای‌پلات؛ لاین‌های DW-93-5 و DW-93-10 را به‌عنوان لاین‌های پایدار با عملکرد دانه بالا معرفی نمودند. هدف از این تحقیق، بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط از طریق روش گرافیکی GGE بای‌پلات در لاین‌های امیدبخش گندم دوروم و شناسایی و معرفی لاین‌های دارای عملکرد اقتصادی و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف کشور بود.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق تعداد ۱۸ لاین امیدبخش گندم دوروم به همراه دو شاهد هانا و آران در پنج ایستگاه تحقیقاتی کرج، کرمانشاه، خرم‌آباد، دزفول و داراب در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار و در دو فصل زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۸) کشت و مورد مقایسه قرار گرفتند. در داراب این تحقیق در دو شرایط آبیاری نرمال و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی اجرا شد. شجره لاین‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است. مشخصات فنی و زراعی اجرای طرح در کلیه مناطق یکسان و مشابه بود. زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات-آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم کلش بعد از برداشت محصول قبل، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم، کود پاشی و ایجار فارو بود. بذر آزمایشی قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ

<sup>3</sup> International Association for Cereal Science and Technology (ICC)

گزینش لاین‌های امیدبخش گندم دوروم با توجه به عملکرد... / توحید نجفی میرک و همکاران

جدول ۱- شجره لاین‌های گندم دوروم مورد بررسی در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸.

Table 1. Pedigree of durum wheat promising lines examined in the cropping years 2018-1400.

ژنوتیپ‌ها	منشاء	شجره
Genotypes	Origin	Pedigree
G1		Aran
G2		Hana
G3	48th IDYN	GUAYACANINIA/2*SNITAN/7/ALTAR84/BINTEPE85/3/STOT//ALTAR84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12/SNITAN/6/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3
G4	48th IDYN	CAMAYO/HYDRANASSA30/SILVER_5/3/SOOTY_9/RASCON_37/5/DUKEM_15/3/BISU_1/PLATA_16//RISSA/4/SOOTY_9/RASCON_37/6/SOOTY_9/RASCON_37//TILO_1/LOTUS_4/7/BCRIS/BICUM//LLARETAINIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21
G5	48th IDYN	ALTAR84/BINTEPE85/3/STOT//ALTAR84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12/SNITAN/6/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/7/YAV79/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/5/MINIMUS/COMBDUCK_2//CHAM_3/3/GREEN_19
G6	48th IDYN	MINIMUS/COMBDUCK_2//CHAM_3/3/FICHE_6/4/MOJO/AIRON/5/SOMAT_3.1/6/CHEN/ALTAR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/5/TILO_1/LOTUS_4/10/CBC509CHILE//SOOTY_9/RASCON_37/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79_8/POD_9/11/ALTAR_84/SBC509CHILE/5/2*AJAIA_16//HORA/JRO/3/GAN/4/ZAR/6/SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACANINIA/10/COMARA//SOOTY_9/RASCON_37/3/2*AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9
G7	48th IDYN	STORLOM/3/RASCON_37/TARRO_2//RASCON_37/4/D00003A/5/1A.ID5+106/3*MOJO/3/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/6/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/7/BCRIS/BICUM//LLARETAINIA/3/DUKEM_12/2 *RASCON_21
G8	48th IDYN	GEROMTEL3/7/ALTAR84/BINTEPE85/3/STOT//ALTAR84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12/SNITAN/6/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3
G9	48th IDYN	GERUFTEL-1//GUAYACANINIA/2*SNITAN
G10	48th IDYN	GUAYACANINIA/2*SNITAN/7/ALTAR84/BINTEPE85/3/STOT//ALTAR84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12/SNITAN/6/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3
G11	48th IDSN	ALTAR84/BINTEPE85/3/STOT//ALTAR84/ALD/4/POD_11/YAZI_1/5/VANRRIKSE_12/SNITAN/6/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/7/7/POD_18/FOCHA_1//ALTAR84/3/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/4/SOMAT_3/GREEN_22/5/VRKS_3/3/AJAIA_12/ F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)
G12	48th IDSN	BCRIS/BICUM//LLARETAINIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21/5/CAMAYO/GUANAY/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G13	48th IDSN	CBC509CHILE/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/7/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/8/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3/9/BCRIS/BICUM//LLARETAINIA/3/DUKEM_12/2*RASCON_21
G14	48th IDSN	GUAYACANINIA/POMA_2//SNITAN/4/D86135/ACO89//PORRON_4/3/SNITAN/5/CAMAYO/GUANAY/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/9/CBC509CHILE/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/7/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)// PLATA_13/8/SOOTY_9/RASCON_37
G15	48th IDSN	ATIL/BAIRDS
G16	48th IDSN	IcamorTA0471//IcamorTA0459/Arishahn10/3/Mgn13/Ainzen1
G17	48th IDSN	ICAMPORTA0469/4/ICAMPORTA0463/3/CandocrossH25//Msbl1/Quarmal04182/5/Icasyr2/6/Geromtel1/Icasyr1
G18	48th IDSN	ICAMPORTA0469/4/ICAMPORTA0463/3/CandocrossH25//Msbl1/Quarmal04182/5/Icasyr2/6/Geromtel1/Icasyr1
G19	48th IDSN	Miki3(Stj3//Bcr/Lks4)
G20	48th IDSN	

منشاء لاین‌ها از چهل و هشتمین آزمایشات بین‌المللی IDYN و IDSN بود.

The origin of the lines was from the 48th IDSN and IDYN international experiments.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب دو ساله برای عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال در پنج ایستگاه تحقیقاتی داراب، دزفول، خرم‌آباد، کرج و کرمانشاه و شرایط خشکی آخر فصل در داراب نشان داد که اثر سال در هر دو شرایط و همه ایستگاه‌ها معنی‌دار شده است و این نشان داد که سال‌های اجرای آزمایش اثرات متفاوتی روی عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم در این ایستگاه‌ها داشته است. در این شرایط از نظر عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و هم‌چنین، برهم‌کنش ژنوتیپ × سال معنی‌دار شد. از نظر عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال نیز اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در ایستگاه‌های داراب، دزفول و کرمانشاه معنی‌دار بود ولی در ایستگاه‌های کرج و خرم‌آباد معنی‌دار نبود. برهم‌کنش ژنوتیپ × سال در شرایط نرمال در داراب و کرمانشاه معنی‌دار ولی در کرج، دزفول و خرم‌آباد معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در ۱۲ محیط در طی دو سال در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین محیط‌های اجرای آزمایش وجود دارد. اختلاف بین ژنوتیپ‌ها و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط نیز به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود. وجود اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در محیط‌های مختلف بیانگر تأثیر شرایط محیطی بر آن می‌باشد. به عبارت دیگر وجود تنوع ژنتیکی برای عملکرد دانه سبب خواهد شد تا بتوان ژنوتیپ‌های مطلوبی از نظر تطبیق با هر یک شرایط محیطی پیدا کرد. این نتیجه به‌طور مشخصی با پاسخ متفاوت هر یک از ژنوتیپ‌ها و هم‌چنین، برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط آن‌ها با محیط قابل توجیه می‌باشد.

اندازه‌گیری لکه آردی: به‌منظور تعیین درصد لکه آردی، مقدار ۱۰۰ گرم از نمونه را وزن نموده و دانه‌هایی که لکه زرد کم‌رنگ نشاسته‌ای در پس‌زمینه شیشه‌ای دانه داشتند، به‌عنوان لکه آردی جدا شده و به‌صورت درصد گزارش گردید.

روش GGE بای‌پلات: روش GGE بای‌پلات، اثر ژنوتیپ (G) و برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط (GE) را با هم حفظ می‌کند و GGE را به دو جزو ضربی تجزیه می‌کند. مدل استفاده شده در GGE بای‌پلات به‌صورت رابطه ۱ است:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن  $g_{i1}$  و  $e_{1j}$  را نمرات اولیه برای ژنوتیپ  $i$  و محیط  $j$  گویند،  $g_{i2}$  و  $e_{2j}$  را نمرات ثانویه برای ژنوتیپ  $i$  و محیط  $j$  می‌نامند و  $\varepsilon_{ij}$  باقیمانده‌ای است که به‌وسیله اثرات اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود.

یک بای‌پلات GGE با رسم  $g_{i1}$  در مقابل  $e_{1j}$  و مقابل  $e_{2j}$  در یک نمودار پراکنش، رسم می‌شود. نمرات اولیه از طریق تجزیه به مقادیر منفرد (SVD)<sup>۴</sup> تجزیه می‌شوند که معادله به‌صورت رابطه ۲ تبدیل می‌شود:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این معادله  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$  به ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC1 و PC2)،  $\xi_{i1}$  و  $\xi_{i2}$  به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ  $i$ ام برای PC1 و PC2 و  $\eta_{1j}$  و  $\eta_{2j}$  به ترتیب بردارهای ویژه محیط  $j$ ام برای PC1 و PC2 می‌باشد (۶).

به‌منظور رسم نمودارهای GGE بای‌پلات و تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی (Metan)<sup>۵</sup> در نرم افزار R استفاده شد.

<sup>4</sup> Singular valued composition

<sup>5</sup> Multi environment trial analysis



گزینش لاین‌های امیدبخش گندم دوروم با توجه به عملکرد... / توحید نجفی میرک و همکاران

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم دوروم طی دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۸).  
Table 2. The results of the combined variance analysis of the grain yield of durum wheat genotypes during two cropping years (2019-2021).

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square					
			Da2	Da	De	Kh	Ka	Ke
Year	سال	1	116.1**	44.48**	73.5**	11.19**	34.4**	55.2**
Block (Year)	بلوک (در سال)	4	4.01	0.47	0.576	3.7	1.05	0.822
Genotype	ژنوتیپ	19	0.881*	1.10**	0.594*	1.53 <sup>ns</sup>	0.97 <sup>ns</sup>	0.888*
Genotype × Year	ژنوتیپ در سال	19	1.22**	1.69**	0.295 <sup>ns</sup>	1.58 <sup>ns</sup>	0.307 <sup>ns</sup>	0.922*
Error	اشتباه آزمایشی	76	0.52	0.565	0.284	1.152	0.764	0.434
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		12.4	10.3	8.1	14.7	11.0	8.7

\*، \*\* و <sup>ns</sup>: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱، ۵ درصد و غیر معنی دار.

کدهای محیطی Da، Da2، Ke، De، Kh و Ka به ترتیب معرف ایستگاه‌های داراب، داراب (شرایط تنش خشکی)، کرمانشاه، دزفول، خرم‌آباد و کرج می‌باشند.  
\*، \*\* and ns: Significant at the probability level of 1, 5% and non-significant, respectively.  
Environmental codes Da, Da2, Ke, De, Kh and Ka represent the stations of Darab, Darab (drought stress condition), Kermanshah, Dezful, Khoramabad and Karaj, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه در ۱۲ محیط مورد بررسی در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۸  
Table 3. Combined variance analysis of grain yield in 12 studied environments during cropping years (2019-2021)

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square
Environment (Env)	محیط	11	6207933**
Error 1	خطای ۱	24	1770721
Genotype (Gen)	ژنوتیپ	19	1344038**
Gen × Env	ژنوتیپ × محیط	209	963304*
Error 2	خطای ۲	456	620183

\* و \*\*: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

\* and \*\*: Significant at the probability level of 1 and 5%, respectively.

G9، G10، G12، G14، G17، G18 و G19 دارای عملکرد دانه بالاتر از هر دو شاهد آران و هانا به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۷۸۰۸ و ۸۰۳۶ کیلوگرم در هکتار بودند. بالاترین عملکرد دانه در این ایستگاه متعلق به لاین G14 با میانگین ۸۶۶۹ کیلوگرم در هکتار بود. در کرمانشاه پنج لاین G6، G9، G10، G14 و G19 عملکرد دانه بالاتری نسبت به هر دو شاهد آران و هانا به ترتیب با میانگین عملکرد ۷۶۳۳ و ۷۳۳۷ کیلوگرم در هکتار داشتند. در کرمانشاه لاین G9 با میانگین ۸۴۱۶ کیلوگرم در هکتار بالاترین

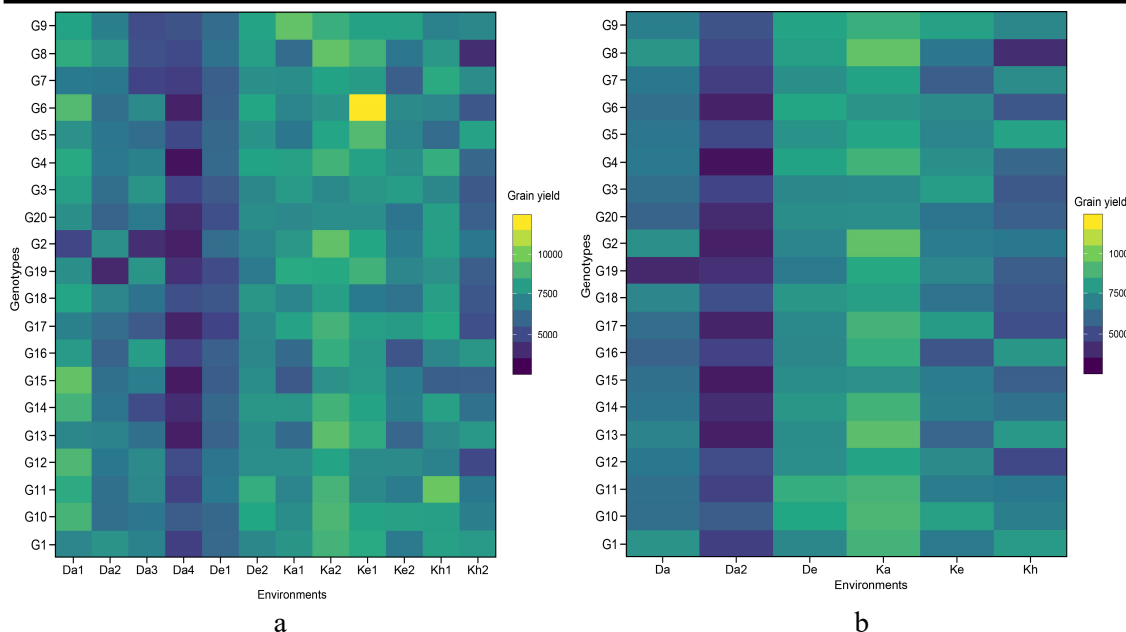
میانگین عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام شاهد در شرایط آبیاری نرمال در داراب نشان داد که فقط لاین G15 دارای عملکرد دانه (۸۱۳۶ کیلوگرم در هکتار) بالاتر از هر دو شاهد آران و هانا به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۷۸۰۸ و ۶۷۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. در دزفول لاین‌های G6، G8، G11 و G10 به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۷۱۱۳، ۷۰۲۷، ۶۹۷۰ و ۶۹۲۶ کیلوگرم در هکتار برتر از هر دو شاهد آران و هانا به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۶۸۶۱ و ۶۵۲۲ کیلوگرم در هکتار بودند. در کرج ۹ لاین G4، G8،

مکان) مختلف (شکل ۱b) از نمودار گرمایی استفاده شد. در این نمودارها، ژنوتیپ‌های دارای عملکرد یکنواخت در تمام محیط‌ها/مکان‌ها می‌تواند به‌عنوان ژنوتیپ پایدار معرفی کرد. هم‌چنین، در این نمودارها عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط بیانگر تنوع درون آن محیط است، به‌طوری‌که هر اندازه رنگ‌های مربوط به ژنوتیپ‌های درون آن محیط متفاوت باشند، بیانگر تنوع بین ژنوتیپ‌ها درون آن محیط‌ها است. از طرفی دیگر، عملکرد هر ژنوتیپ در محیط‌های مختلف نیز برای بررسی تنوع در بین محیط‌ها می‌تواند استفاده شوند. بررسی پراکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی نشان‌دهنده تفاوت ژنوتیپ‌های مختلف از نظر عملکرد دانه در یک محیط و هم‌چنین، تفاوت میانگین آن‌ها از محیطی به محیط دیگر است. بر مبنای شکل ۱a، کم‌ترین و بیش‌ترین عملکرد دانه بیشتر ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب مربوط به ایستگاه داراب در شرایط تنش انتهایی فصل (Da2) و ایستگاه کرج (Ka) می‌باشد. از طرفی با توجه به شکل ۱b، کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به محیط‌های Da4 (داراب، سال دوم در شرایط تنش انتهایی فصل) و De1 (دزفول، سال اول) می‌باشد و بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به محیط Ka2 (کرج، سال دوم) بود. در مجموع با توجه به شکل ۱a، تنوع بین ژنوتیپ‌ها و محیط/مکان‌های مورد بررسی کاملاً مشهود می‌باشد. استفاده از نمودار حرارتی به منظور بررسی تنوع بین ژنوتیپ‌ها و تفاوت بین محیط‌ها توسط سایر محققان هم گزارش شده است (۱۵، ۱۶).

عملکرد دانه را به‌خود اختصاص داد. در خرم‌آباد تمامی لاین‌های مورد بررسی عملکرد بالاتری نسبت به شاهد هانا نشان دادند و ۱۱ لاین G7، G8، G9، G10، G11، G13، G14، G16، G17، G18 و G19 عملکرد دانه بالاتری نسبت به هر دو شاهد داشتند. در این ایستگاه لاین G10 با میانگین ۸۳۷۱ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را داشت. به‌طور کلی بر اساس میانگین عملکرد دانه در پنج ایستگاه و در دو سال زراعی شاهد‌های آران و هانا به‌ترتیب عملکرد دانه ۷۴۶۲ و ۷۰۴۸ کیلوگرم در هکتار داشتند و لاین‌های G8، G9، G10، G14، G18 به‌ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۷۷۲۵، ۷۵۹۷، ۷۷۴۲، ۷۶۶۱ و ۷۵۵۸ کیلوگرم در هکتار برتر از شاهد‌ها بودند (جدول نشان داده نشده است).

نتایج نشان داد در شرایط تنش خشکی آخر فصل در ایستگاه تحقیقاتی داراب، لاین‌های G3، G5، G10، G11، G16، G18 و G19 برتر از هر دو شاهد بودند و در بین آن‌ها دو لاین G10 و G18 به‌ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۶۳۳۵ و ۶۳۵۴ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی آخر فصل نشان دادند. در این شرایط تنش خشکی آخر فصل نیز همانند شرایط نرمال تفاوت قابل توجهی بین دو رقم گندم دوروم آران و هانا در داراب مشاهده گردید به‌طوری‌که در هر دو شرایط رقم آران حدود ۴۴۰ کیلوگرم عملکرد بالاتری نسبت به رقم هانا داشت (جدول نشان داده نشده است).

به‌منظور بررسی پراکنش عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در مکان‌ها (شکل ۱a) و محیط‌های (ترکیب سال و



شکل ۱- (a) نمودار گرمایی پراکنش عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در مناطق مختلف. (b) نمودار گرمایی پراکنش عملکرد دانه ۲۰ ژنوتیپ گندم دوروم در ۱۲ محیط مورد بررسی.

کدهای محیطی Da, Ke, De, Kh و Ka به ترتیب معرف ایستگاه‌های داراب، کرمانشاه، دزفول، خرم‌آباد و کرج می‌باشند. اعداد ۱ و ۲ در کدهای محیطی به ترتیب معرف سال اول (۱۳۹۸-۱۳۹۹) و سال دوم (۱۴۰۰-۱۳۹۹) می‌باشند. اعداد ۳ و ۴ در کدهای محیطی به ترتیب معرف سال اول (۱۳۹۸-۱۳۹۹) و سال دوم (۱۴۰۰-۱۳۹۹) در شرایط تنش خشکی می‌باشند. کد محیطی Da2 در شکل a معرف اجرای آزمایش در شرایط تنش خشکی در ایستگاه داراب است.

Figure 1. (a) Heat map of grain yield distribution of 20 durum wheat genotypes in different regions (b). Heat map of grain yield distribution of 20 durum wheat genotypes in 12 investigated environments. Environmental codes Da, Ke, De, Kh and Ka represent the stations of Darab, Kermanshah, Dezful, Khoramabad and Karaj, respectively. The number 1 and 2 in the environmental codes are the first year (2019-2020) and the second year (2020-2021), respectively. The numbers 3 and 4 in the environmental codes are the drought stress conditions in the first year (2019-2020) and the second year (2020-2021), respectively. The environmental code Da2 in Figure "a" is drought stress conditions at Darab station.

اگر مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتوانند اکثر تغییرات موجود را توجیه نمایند، بیانگر ماهیت پیچیده برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط بوده و لزوماً به معنای غیر-معتبر بودن بای‌پلات نیست (۱۰، ۱۷). محمدی و همکاران (۱۰) در بررسی ۲۵ ژنوتیپ گندم دوروم در ۲۹ محیط سهم دو مؤلفه اول و دوم را به ترتیب ۳۲/۲ و ۱۶/۷ درصد و در مجموع ۳۹/۹ درصد گزارش نمودند. بررسی نمودار چند ضلعی به منظور تعیین ژنوتیپ‌های برتر در مکان‌های مختلف و مشخص نمودن محیط‌های بزرگ نشان داد که ژنوتیپ‌های G10، G18، G3، G14، G2 و G9 در رئوس چند ضلعی قرار دارند. این ژنوتیپ‌ها که بیش‌ترین فاصله

به منظور تفسیر بهتر بای‌پلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی در یک منطقه، نمایش چند ضلعی برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط در آزمایشات چند محیطی یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای مشاهده الگوهای برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط می‌باشد (۶) و بنابراین از GGE بای‌پلات که یکی از این روش‌ها می‌باشد، استفاده شد. به منظور انجام GGE بای‌پلات و ترسیم بای‌پلات‌ها از میانگین دو سال استفاده شده است. نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۳۳/۴ و ۲۳/۷ درصد و در مجموع ۵۷/۱ درصد کل تغییرات را توجیه نمودند (شکل ۲a). به نظر بسیاری از محققین

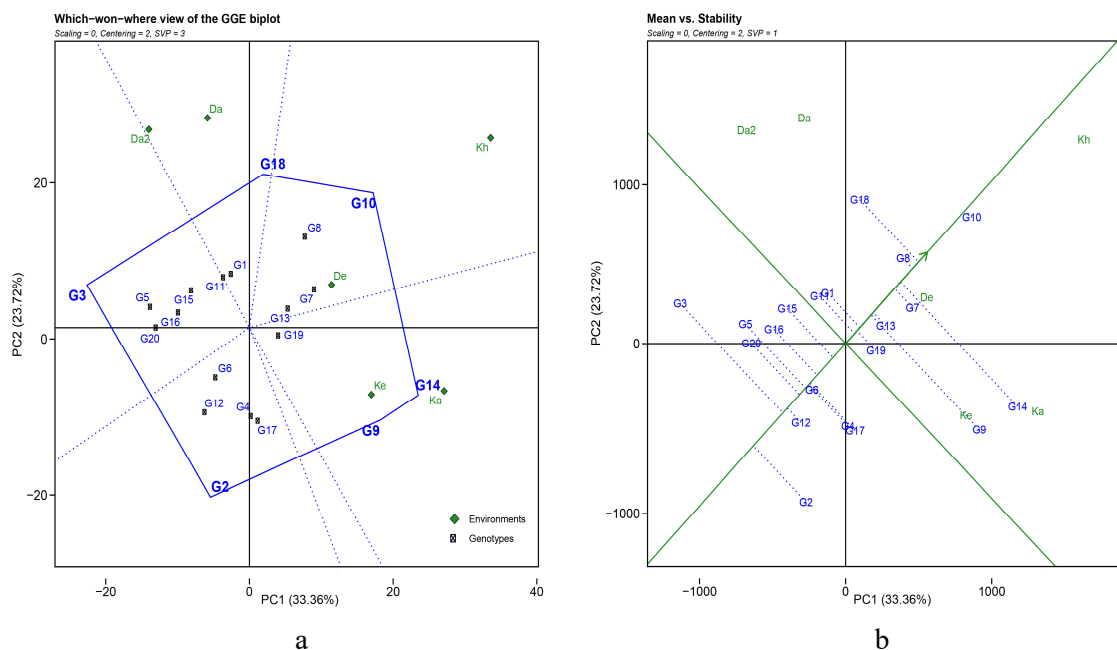
به منظور بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها از بای‌پلات مختصات محیط متوسط (AEC) استفاده شد (شکل ۲b). در این بای‌پلات، محوری که دارای یک پیکان است، از مبدأ مختصات می‌گذرد بیانگر برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط بوده و پایداری ارقام را تعیین می‌کند. هر چقدر تصویر لاین‌ها روی این محور بلندتر باشد نشان‌دهنده سهم بیشتر ژنوتیپ‌ها در برهم‌کنش ژنوتیپ  $\times$  محیط است و ناپایداری ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد (۸، ۱۹). نتایج بای‌پلات (شکل ۲b) نشان داد که ژنوتیپ‌های G8 و G10 جزو پایدارترین لاین‌ها بودند که در ضمن بیشترین مقدار عملکرد دانه را هم داشتند. از طرفی لاین‌های شماره‌ی G2 و G3 جزو ناپایدارترین لاین‌ها هم از نظر پایداری عملکرد و هم عملکرد دانه بودند. به منظور تعیین ژنوتیپ ایده‌آل از بای‌پلات شکل ۳a استفاده شد در این بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که دارای بیش‌ترین عملکرد و پایداری بوده و از نظر مکانی در مراکز دوایر متحد‌المركز بای‌پلات قرار دارد (۸). میزان مطلوبیت لاین‌ها به فاصله آن‌ها از ژنوتیپ مطلوب بستگی دارد. مقایسه لاین‌های مورد بررسی با ژنوتیپ ایده‌آل (شکل ۳a) نشان داد که G10 نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل است که بیش‌ترین عملکرد را داشته و به‌علت قرار داشتن روی محور میانگین محیط دارای بیش‌ترین پایداری نیز است از طرفی G8 نیز جزو بهترین ژنوتیپ‌ها بعد از G10 بودند. استفاده از مدل GGE بای‌پلات برای ارزیابی پایداری عملکرد در سایر تحقیقات نیز گزارش شده است (۴، ۹، ۱۴، ۱۸، ۲۰، ۲۱).

به منظور بررسی همبستگی بین مناطق کشت گندم درووم از نمودار شکل ۳b استفاده شد. محاسبه کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها در نمودار بای‌پلات، تقریبی از همبستگی بین محیط‌ها است. زمانی

را از مرکز بای‌پلات دارند ممکن است جزو برترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در یک یا چند محیط باشند. با توجه به بای‌پلات شکل ۲a، در این بررسی سه محیط بزرگ مشخص گردید. اولین محیط بزرگ شامل مناطق دزفول و خرم‌آباد بود و به‌ترتیب ژنوتیپ‌های G8 و G10 جزو ژنوتیپ‌های برتر در این دو منطقه بودند. دومین محیط بزرگ کرمانشاه و کرج بود و ژنوتیپ‌های G9 و G14 جزو ژنوتیپ‌های برتر در این دو منطقه بودند. سومین محیط بزرگ شامل دو شرایط اجرای آزمایش در داراب بود و ژنوتیپ برتر در داراب در هر دو شرایط تنش خشکی و شرایط بدون تنش G18 بود. زمانی که رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت باشد تأییدکننده برهم‌کنش متقاطع است (۱۰). از طرفی قرارگرفتن برخی از محیط‌ها در گروه‌های مشابه نشان می‌دهد که رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های یک گروه خاص تغییرات زیادی ندارد که نشان‌دهنده برهم‌کنش غیرمتقاطع است. این نتایج نشان می‌دهد که هر دو نوع برهم‌کنش متقاطع و غیرمتقاطع برای عملکرد دانه در آزمایشات چند محیطی گندم درووم در مناطق مختلف ایران وجود دارد (۱۳، ۱۸). هر چند ژنوتیپ‌های G2 و G3 در رأس چند ضلعی قرار داشتند اما هیچ مکانی در اطراف آن‌ها وجود نداشت و این نشان داد که این لاین‌ها در اکثر مناطق مورد بررسی عملکرد ضعیفی از خود نشان داده‌اند. محیط‌های بزرگ دارای دو ویژگی هستند. اول این‌که واریانس بین محیط‌های بزرگ به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر از واریانس درون محیط‌های بزرگ است و دوم این‌که ارقام برتر متفاوتی در محیط‌های بزرگ وجود دارد (۱۹). هم‌چنین، لاین‌های شماره‌ی G13 و G19 در مرکز بای‌پلات قرار داشتند. به‌طور کلی ارقامی که در مرکز GGE بای‌پلات قرار می‌گیرند واکنش یکسان به اکثر محیط‌های مورد بررسی نشان می‌دهند.

سازگاری و پایداری ارقام و لاین‌ها که در چندین سال مکان اجرا می‌شود، مکان‌ها و محیط‌های مشابه را شناسایی و حذف نمود که این امر منجر به کاهش هزینه‌ها خواهد بود (۷، ۱۹).

که زاویه بین دو بردار محیط ۹۰ درجه باشد همبستگی آن‌ها صفر درجه و اگر این زاویه صفر باشد همبستگی بین محیط‌ها +۱ و اگر ۱۸۰ درجه باشد همبستگی -۱ خواهد بود. در واقع با تعیین مقدار همبستگی بین محیط‌ها می‌توان در آزمایشات تعیین



شکل ۲- (a) چند ضلعی GGE بای پلات برای تعیین لاین‌های برتر (b) بای پلات مختصات محیط متوسط (AEC) برای گزینش هم‌زمان عملکرد دانه و پایداری لاین‌های امید بخش گندم دوروم در مناطق داراب (شرایط تنش خشکی و بدون تنش)، دزفول، کرمانشاه، کرج و خرم‌آباد. کدهای محیطی Da, Da2, Ke, De, Kh و Ka به ترتیب معرف ایستگاه‌های داراب، داراب (شرایط تنش خشکی)، کرمانشاه، دزفول، خرم‌آباد و کرج می‌باشند.

Figure 2. (a) Polygon of GGE biplot to determination superior lines durum wheat (b) Biplot of the average-environment coordination (AEC) for simultaneously, selection of seed yield and stability of durum wheat promising lines in locations of Darab (Dry stress and no stress conditions), Dezful, Kermanshah, Karaj and Khorramabad. Environmental codes Da, Da2, Ke, De, Kh and Ka represent the stations of Darab, Darab (drought stress condition), Kermanshah, Dezful, Khorramabad and Karaj, respectively.

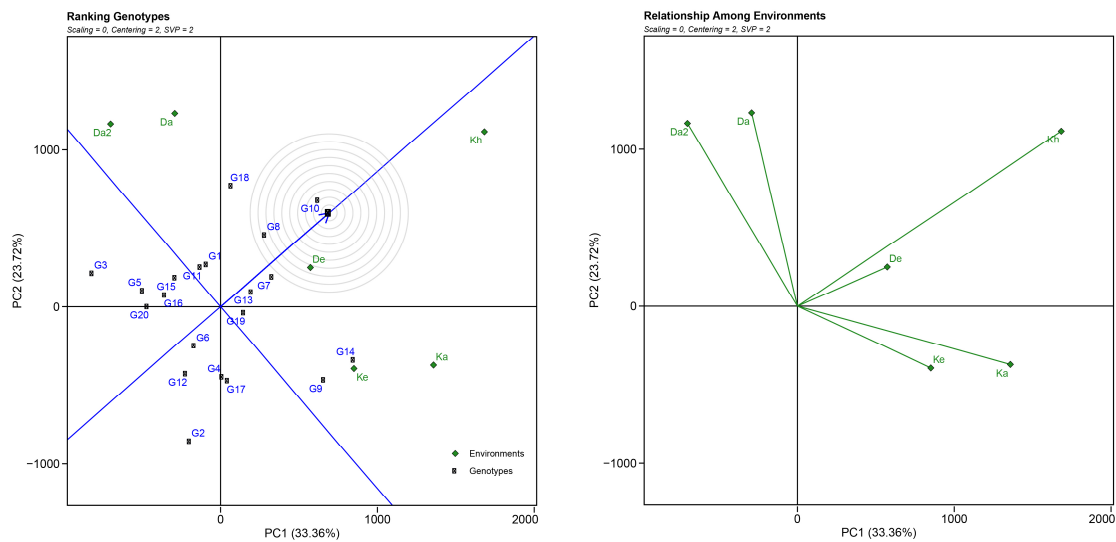
بود. نتایج همبستگی بین مناطق نشان داد که دسته‌بندی مناطق کاملاً منطقی می‌باشد. کرمانشاه و کرج از نظر آب و هوایی جزو مناطق سردسیر کشور می‌باشند. خرم‌آباد و دزفول در همسایگی هم قرار دارند با این تفاوت که دزفول از نظر آب و هوایی از خرم‌آباد گرم‌تر است و داراب جزو مناطق گرم کشور و در جنوب غربی کشور قرار دارد و بیش‌ترین فاصله را از سایر مناطق این تحقیق دارد. استفاده از

مقایسه بردارهای محیطی مناطق مورد بررسی نشان داد همبستگی بین کرمانشاه و کرج بالا بود که این امر نمایانگر تشابه این دو منطقه از نظر شرایط آب و هوایی بود. هم‌چنین بردارهای محیطی نشان داد که همبستگی دزفول و خرم‌آباد بالا بود که تشابه شرایط آب و هوایی این دو منطقه را نشان داد. از طرفی همبستگی بالایی بین هر دو شرایط اجرای این تحقیق در داراب (شرایط تنش خشکی و بدون تنش)

مناطق از قابلیت تمایز بالایی برخوردار است و از طرفی دزفول با کمترین طول بردار محیطی نشان داد که از قابلیت تمایز پایینی برای ارقام و لاین‌ها برخوردار است. در مجموع نتایج نشان داد که به ترتیب مناطق خرم‌آباد، داراب و کرج جزو مناطقی هستند که عمدتاً دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و می‌توانند در آزمایشات بررسی ارقام در بین لاین‌ها و ارقام مورد بررسی تمایز مناسبی ایجاد نمایند. نجفی میرک و همکاران (۱۲) در بررسی برهم‌کنش ژنوتیپ در محیط در گندم دوروم، دو محیط بزرگ شناسایی در هر محیط بزرگ، مطلوب‌ترین محیط‌ها را شناسایی نمودند. در بررسی آن‌ها مشخص شد مناطق دزفول، اهواز و داراب در محیط بزرگ اول و خرم‌آباد به تنهایی در محیط بزرگ دوم قرار دارند.

روش GGE بای‌پلات برای تفکیک محیط‌های مشابه از محیط‌های غیرمشابه در بسیاری از تحقیقات در سایر گیاهان نیز گزارش شده است (۱۲، ۱۷، ۲۲).

ویژگی مهم دیگر در بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها، طول بردار محیطی است که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط بوده و نیز شاخصی از قابلیت تمایز محیط‌ها است (۷). به طوری که بردارهای بلندتر، انحراف معیار بیش‌تر و در نتیجه قابلیت تمایز بیش‌تری دارند. قابلیت تمایز، یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط بوده به طوری که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ارقام و لاین‌ها را ارائه کنند (۱۹). بررسی بردارهای محیطی برای مناطق مورد بررسی نشان داد (شکل ۳b) که خرم‌آباد با بلندترین طول بردار محیطی نسبت به سایر



شکل ۳- (a) بای‌پلات مقایسه ژنوتیپ‌های گندم دوروم با ژنوتیپ ایده‌آل بر مبنای عملکرد دانه و پایداری (b) بای‌پلات نقشه همبستگی بین مناطق داراب (شرایط تنش خشکی و بدون تنش)، دزفول، کرمانشاه، کرج و خرم‌آباد. کدهای محیطی Da, Da2, Ke, De, Kh و Ka به ترتیب معرف ایستگاه‌های داراب، داراب (شرایط تنش خشکی)، کرمانشاه، دزفول، خرم‌آباد و کرج می‌باشند.

Figure 3. (a) Biplot of durum wheat genotypes comparison with ideal genotype based on seed yield and stability (b) biplot of correlation map among locations of Darab (Dry stress and no stress conditions), Dezful, Kermanshah, Karaj and Khorramabad. Environmental codes Da, Da2, Ke, De, Kh and Ka represent the stations of Darab, Darab (drought stress condition), Kermanshah, Dezful, Khorramabad and Karaj, respectively.

لکه آردی دانه را داشت. شاهد‌های آران و هانا به ترتیب ۱۷ و ۱۹ درصد لکه آردی داشتند (جدول ۴). با توجه به این‌که این شاخص به شدت تحت تأثیر محیط و مدیریت مزرعه می‌باشد، ارقام و لاین‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف میزان لکه آردی متفاوتی را نشان می‌دهند. کمبود نیتروژن در مرحله دانه‌بندی یکی از عوامل مهم افزایش لکه آردی در گندم دوروم می‌باشد. مقدار پروتئین گندم عامل مهمی در تعیین کیفیت پخت است. مقدار بالای پروتئین سمولینای حاصل از گندم دوروم پاستایی قوی و الاستیک تولید می‌کند که در هنگام پخت، به خوبی متورم شده و حداقل ضایعات را به جای می‌گذارد (۲۵). به دلیل اهمیت درصد پروتئین گندم در کیفیت پاستا و ارزش تجاری آن، برنامه‌های اصلاحی در مورد درصد پروتئین از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (۲۶). میانگین درصد پروتئین ژنوتیپ‌ها نیز در محدوده ۱۲/۵-۱۲/۰ متغیر بود.

بررسی شاخص‌های کیفیت: نتایج آزمون‌های کیفیت انجام شده بر روی نمونه‌های تهیه شده از ایستگاه‌های تحقیقاتی دزفول، کرج، کرمانشاه و خرم‌آباد نشان داد که میانگین درجه سختی ژنوتیپ‌های مختلف در محدوده ۵۷-۵۸ قرار دارد و لاین‌های امیدبخش با ارقام شاهد از این نظر تفاوت قابل توجهی با هم ندارند (جدول ۴). شاخص سختی دانه یک عامل مهم در ارزیابی مطلوبیت گندم می‌باشد. گندم‌های نرم، بسیار شکستنی هستند در حالی‌که در گندم‌های سخت، شبکه پروتئین و نشاسته در داخل آندوسپرم کاملاً محکم به هم متصل شده‌اند (۲۳، ۲۴).

یکی دیگر از ویژگی‌های دانه گندم دوروم که بر روی کیفیت سمولینا تأثیر دارد میزان یا درصد لکه آردی آنها است. از نظر این شاخص نیز ارقام تفاوت قابل توجهی با هم داشتند به طوری‌که ژنوتیپ G17 کم‌ترین لکه آردی دانه را نشان داد (با میانگین ۱۴ درصد) و ژنوتیپ G14 با ۴۵ درصد بالاترین میانگین

جدول ۴- میانگین شاخص‌های کیفیت (سختی دانه و لکه آردی) ژنوتیپ‌های گندم دوروم در مناطق مختلف.

Table 4. Average quality indicators (hardiness index and yellow berry) of durum wheat genotypes in different regions.

ژنوتیپ Genotype	لکه آردی (درصد)					سختی دانه				
	Yellow berry (%)					Hardiness index				
	Kh	Ke	Ka	De	میانگین Mean	Kh	Ke	Ka	De	میانگین Mean
G1	4	30	30	3	17	56	56	56	60	57
G2	2	37	32	3.5	19	57	57	58	61	58
G3	2.5	21	28	9	15	56	58	58	59	58
G4	8	40	52	4	26	58	59	54	60	58
G5	21	33	40	2	24	55	59	57	59	58
G6	25	32	56	4	29	54	58	58	60	58
G7	14	36	55	12	29	56	57	57	60	58
G8	20	69	74	8	43	57	57	55	59	57
G9	40	48	25	6	30	55	56	59	60	58
G10	37	36	16	12	25	56	60	58	59	58
G11	25	22	8	10	16	56	59	57	60	58
G12	36	42	48	5	33	54	56	56	61	57
G13	22	51	45	1.5	30	58	57	58	60	58
G14	34	63	73	10	45	57	55	55	63	58
G15	5	47	30	4	22	56	58	56	62	58
G16	2	72	56	4	34	57	55	57	60	57
G17	2.5	24	20	10	14	56	60	57	60	58
G18	8	54	76	5	36	55	58	55	62	58
G19	5	44	67	5	30	57	59	55	62	58
G20	23	29	55	3	28	58	59	57	60	59

کدهای محیطی Ke, De, Kh و Ka به ترتیب معرف ایستگاه‌های کرمانشاه، دزفول، خرم‌آباد و کرج می‌باشند.

Environmental codes Ke, De, Kh and Ka represent the stations of Kermanshah, Dezful, Khoramabad and Karaj, respectively.

با ۲۳/۸ درصد پایین‌ترین میزان گلوتن را دارا بود و ژنوتیپ G17 با ۲۷/۳ درصد بالاترین گلوتن مرطوب را داشت (جدول ۸). ژائو و همکاران (۲۸) محیط را به‌عنوان یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر میزان گلوتن معرفی نمودند. گلوتن به‌عنوان بخش عمده‌ای از پروتئین ذخیره‌ای و غیرقابل حل در آب بوده که در هنگام تهیه خمیر، خاصیت ویسکوالاستیک را باعث شده و امکان تولید پاستا از گندم دوروم را فراهم می‌نماید (۲۹).

ژنوتیپ G9 و G12 کم‌ترین میانگین درصد پروتئین (۱۲ درصد) و ژنوتیپ G10 با داشتن ۱۲/۵ درصد، بالاترین پروتئین را داشتند. شاهد‌های آران و هانا هر دو دارای میانگین ۱۲/۱ درصد پروتئین بودند (جدول ۵). محققین بیان کردند که تفاوت در میزان پروتئین ارقام مختلف گندم تحت تأثیر نوع رقم و آب و هوای محیط کشت گندم است (۲۷). هم‌چنین، نتایج نشان داد که تنوع نسبتاً زیادی از نظر میزان گلوتن مرطوب دیده می‌شود به‌طوری‌که ژنوتیپ G9

جدول ۵- میانگین شاخص‌های کیفیت (پروتئین و گلوتن مرطوب) ژنوتیپ‌های گندم دوروم در مناطق مختلف.

Table 5. Quality indicators average (protein and wet gluten) of durum wheat genotypes in different regions.

ژنوتیپ Genotype	گلوتن مرطوب (درصد) Wet gluten (%)					پروتئین دانه (درصد) Grain protein (%)				
	Kh	Ke	Ka	De	میانگین Mean	Kh	Ke	Ka	De	میانگین Mean
G1	25	20	22	34	25.3	12.5	11.4	11.6	13	12.1
G2	24	21	23	28	24	12.5	11.3	11.5	12.9	12.1
G3	20	22	24	31	24.3	12	11.5	12.2	12.9	12.2
G4	25	20	25	34	26	12.6	11.5	11.4	13.2	12.2
G5	20	23	23	32	24.5	12.4	11.5	11.5	13	12.1
G6	20	25	27	27	24.8	12.2	11.6	11.7	12.8	12.1
G7	25	21	24	29	24.8	12.6	11.3	12	13	12.2
G8	24	24	19	31	24.5	12.5	11.5	11.6	12.9	12.1
G9	22	22	22	29	23.8	12	11.4	11.8	12.7	12
G10	20	24	29	30	25.8	12.4	12	12.7	12.8	12.5
G11	20	22	29	33	26	11.8	12	12.3	12.9	12.3
G12	22	22	25	32	25.3	11.9	11.4	11.5	13	12
G13	24	23	28	32	26.8	12.6	11.4	12	12.9	12.2
G14	25	18	22	35	25	12.5	11.3	11.8	13.1	12.2
G15	25	20	25	33	25.8	12.6	11.5	11.6	13	12.2
G16	27	22	22	33	26	12.7	11.4	12	12.9	12.3
G17	22	30	25	32	27.3	12	11.8	12.3	13	12.3
G18	20	24	22	33	24.8	11.9	11.5	11.5	13.3	12.1
G19	25	25	21	32	25.8	12.6	11.7	11.4	13.2	12.2
G20	24	24	24	33	26.3	12.5	11.5	11.8	13	12.2

کدهای محیطی Ke, De, Kh و Ka به ترتیب معرف ایستگاه‌های کرمانشاه، دزفول، خرم‌آباد و کرج می‌باشند.

Environmental codes Ke, De, Kh and Ka represent the stations of Kermanshah, Dezful, Khoramabad and Karaj, respectively.

۷۴۶۲ و ۷۰۴۸ کیلوگرم در هکتار بودند و لاین‌های G8، G9، G10، G14 و G18 به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۷۷۲۵، ۷۵۹۷، ۷۷۴۲، ۷۶۶۱ و ۷۵۵۸ کیلوگرم در هکتار برتر از شاهد‌ها بودند. در شرایط

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی در شرایط نرمال بر اساس میانگین عملکرد دانه در پنج ایستگاه و دو سال زراعی، شاهد های آران و هانا به ترتیب دارای میانگین عملکرد دانه



می‌توانند در آزمایشات بررسی ارقام در بین لاین‌ها و ارقام مورد بررسی تمایز مناسبی ایجاد نمایند. در کل با در نظر گرفتن میانگین عملکرد دانه و نتایج GGE بای پلات در هر دو شرایط نرمال و خشکی و با در نظر گرفتن برخی از خصوصیات کیفی دانه، لاین‌های G8 (D-98-8) و G10 (D-98-10) به‌عنوان مناسب‌ترین لاین‌ها برای هر دو شرایط نرمال و خشکی انتخاب گردیدند. این لاین‌ها در آزمایشات تحقیقی- ترویجی در شرایط زارعین مورد بررسی بیشتر قرار گرفته و هر کدام از آن‌ها که در مزارع زارعین نیز برتری خود را نشان دهد به‌عنوان رقم جدید معرفی خواهد شد.

تنش خشکی آخر فصل بر اساس میانگین عملکرد دانه دو ساله داراب لاین‌های G3, G5, G10, G11, G16, G18 و G19 برتر از شاهد‌های آزمایش بوده و بقیه لاین‌های عملکرد دانه کمتری داشتند. نتایج GGE بای پلات نشان داد که لاین‌های شماره‌ی G8 و G10 یکی از بهترین لاین‌ها از نظر عملکرد دانه بالا و پایداری عملکرد است. هم‌چنین، تمام مناطق مورد بررسی به سه محیط بزرگ گروه‌بندی شدند. دزفول و خرم‌آباد در محیط بزرگ اول، کرمانشاه و کرج در محیط بزرگ دوم و داراب در هر دو شرایط تنش و بدون تنش در محیط بزرگ سوم قرار گرفتند. در ضمن به ترتیب مناطق خرم‌آباد، داراب و کرج جزو مناطقی هستند که عمدتاً دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و

## References

- Brennan, J. P., Aw-Hassan, A., Quade, K. J., & Nordblom, T. L. (2002). Impact of ICARDA Research on Australian Agriculture, Economic Research Report No. 11. NSW Agriculture, Wagga Wagga.
- Dastfal, M., Aghaee-Sarbarzeh, M., & Zali, H. (2022). Genetic diversity and selection of durum wheat pure lines with desirable agronomy traits using SIIG index. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53, 161-174. [In Persian]
- Gresta, F., Avolab, G., Cannavò, S., & Santonoceto, C. (2018). Morphological, biological, productive and qualitative characterization of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L. Taub.) genotypes. *Industrial Crops and Products*, 114, 98-107.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Tahmasebi, S., Lotf Ali Ayeneh, Gh A., Akbari Moghadam, H., Mahmoudi, Kh., Sayyahfar, M., Tabib Ghaffari, S. M., & Zali, H. (2018). *Iranian Journal of Crop Science*, 20(1), 61-76. [In Persian]
- Gauch, H. G. (1992). Statistical Analysis of Regional Trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 287pp.
- Yan, W., Hunt, L. A., Shen, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597-605.
- Yan, W., & Kang, M. S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, Geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan, W. 2001. GGEbiplot-A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, 93, 1111-1118.
- Pourdad, S. S., & Jamshid Moghaddam, M. (2013). Study on genotype  $\times$  environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding*, 5 (12), 1-14. [In Persian]
- Yan, W., & Tinker, N. A. (2005). An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype  $\times$  environment interaction. *Crop Science*, 45, 1004-1016.
- Farshadfar, E., Zali, H., & Mohammadi, R. (2011). Evaluation of phenotypic stability in chickpea genotypes using GGE-Biplot. *Annals Biological Research*, 2 (6), 282-292.
- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., & Zali, H.

- (2018). Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE biplot. *Journal of crop Breeding*, 10 (28), 1-12.
13. Rao, P. S., Reddy, P. S. Ratore, A., Reddy B. V. S., & Panwar, S. (2011). Application GGE biplot and AMMI model to evaluate sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) hybrids for genotype× environment interaction and seasonal adaptation. *Indian Journal of Agricultural Science*, 81, 438-444.
  14. Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., & Asghari, A. (2016). Evaluation of yield stability and drought tolerance-based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. *Agricultural Communications*, 4(1), 1-8.
  15. Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Barzali, M., Mehraban, A., & Sharifi, P. (2020). Evaluation the mean performance and stability of lentil genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques. *Journal of Crop Breeding*, 12 (36), 160-170. [In Persian]
  16. Zali, H., Barati, A., & Jabari, M. (2021). Evaluation of variation at barley inbred lines (*Hordeum vulgare* L.) using SIIG Index. *Journal of Crop Breeding*, 13 (39), 179-194.
  17. Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, Gh., Ahmadi, H., Abedi-Asl, Gh., & Eskandari, M. (2016). Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. *Applied Field Crops Research*, 29 (4), 25-42. [In Persian]
  18. Fan, X. M., Kang, M. S. Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., & Xu, C. (2007). Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, (99), 220-228.
  19. Yan, W., & Rajcan, I. (2002). Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, (42), 11-20.
  20. Barati, A., Zali, H., Lakzadeh, I., Koohkan, Sh., Jafarby, J. A., Hosseinpour, A., Jabari, M., Marzooghian, A., Gholipour, A., Poodineh, O., & Kheirgoo, M. (2022). Study of grain yield stability of barley promising lines in warm regions using GGE biplot. *Journal of Agricultural Science Sustainable Production*, 1(32), 65-78. [In Persian]
  21. Farshadfar, E., Sabaghpour, S. H., & Zali, H. (2012). Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. *Australian Journal of Crop Science*, 6, 514-524.
  22. Navabi, A., Yang, R., Helm, J., & Spaner, D. M. (2006). Can spring wheat-growing mega environments in the northern Great Plains be dissected for representative locations or niche adapted genotypes? *Crop Science*, (46), 1107-1116.
  23. Cutler, G. H., & Brinson, G. A. (1990). The granulation of whole wheat meal and a method of expressing it numerically. *Cereal Chemistry*, (12), 120-129.
  24. Donelson, J. R., & Yamazaki, W. T. (1982). Note on a rapid method of the estimation of damaged starch in soft wheat flours. *Cereal Chemistry*, (39), 460-462.
  25. Tohver, M. (2007). High molecular weight (HMW) glutenin subunit composition of Nordic and Middle European wheat. *Genetic Resources and Crop Evolution*, (54), 67-81.
  26. Singh, N. K., Shepherd, K. W., & Comish, G.B. (1991). Rapid communication: a simplified SDS-PAGE. Procedure for separating LMW subunits of Glutenin. *Journal of Cereal Science*, (14), 203-208.
  27. Walsh, D. E., & Gills, K. A. (1971). Influence of protein composition on spaghetti quality. *Cereal Chemistry*, 48, 544-554.
  28. Zhao, C., Ning, T., Jiao, N., Han, B., & Li, Z. (2005). Effects of genotype and environment on protein and starch quality of wheat grain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16, 1257-1260.
  29. Guttieri, M. J., Ahmad, R., Stark, J. C., & Souza, E. (2000). End-use quality of six hard red spring wheat cultivars at different irrigation levels. *Crop Science*, (40), 631-635.