Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 15, No 48, Winter 2024 p: 78-92

"Research Paper"

Investigating the Stability of Bread Wheat Genotypes under Water Deficit Stress Conditions in Different Cold Climate Regions of Iran using AMMI and GGE-Biplot Analysis

Ashkboos Amini[1], Ali Akbar Asadi[2], Mehrdad Chaichi[3], Masoud Ezat-Ahmadi[4], Marefat Gasemi[5], Ali Reza Eivazi[6], Tagi Babaee[7] and Masoud Godsi[8]

1- Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, (Corresponding author: amini_ashk@yahoo.com)
2- Assistant Professor, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran
3- Assistant Professor, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran
4- Assistant Professor, Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
5- Assistant Professor, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran
6- Assistant Professor, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Urmia, Iran
7- Researcher, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran
8- Associate Professor, Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
Received: 10 April, 2023 Accepted: 29 July, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: It is necessary to develop new sustainable high-yielding cultivars in drought-prone areas. The yield of cultivars in different environments is different and their yield rating varies from one environment to another. Reduction of interaction effects and production stability in different environments is one of the goals of breeding program and introducing cultivars in different regions. The purpose of this study was to evaluate the genotype ×environment interaction effect in different cold climate regions of Iran and to determine the superior genotypes and introduce the most stable wheat genotype in these conditions.

Material and Methods: To investigate of the stability of 17 wheat genotypes along with Mihan, Heydari and Zarineh cultivars (check cultivars) under water deficit conditions, these genotypes were tested in a randomized complete block designwith three replications in the research stations of Karaj, Hamedan, Mashhad, Jalgarokh, Miandoab and Ardabil in the two crop years 2018 to 2019. In order to check the stability of genotypes, AMMI and GGE-biplot analysis were used.

Results: AMMI analysis showed that the first ten main components were significant and in total explained nearly 97% of the changes in the genotype × environment interaction and the two main components, the first and the second, contributed 46% to the expression of the genotype × environment interaction. Based on SSiASV and SSiWAAS indices G2, G19 and G4 were identified as the best genotypes, respectively. The G3 was the most stable genotype. GGE-biplot analysis showed that G16, G1, G3 and G7 had the highest general stability compared to other genotypes. G16 can be considered as a desirable genotype that has high average yield and high yield stability. G12 and G9 genotypes were in the next ranks. On the other hand, the ideal environment was not observed, but the environments of Mashhad, Ardabil and Karaj in the first year can be introduced as the closest environments to the ideal environment for the selection of superior wheat genotypes in water deficit condition in the cold climate of the Iran.

Conclusion: G3 was the most stable genotype, and then G16, G1 and G7 had the most general stability compared to other genotypes, so that G16 was identified as the desired genotype with high average yield and high yield stability. The environments of Mashhad, Ardabil and Karaj in the first year can also be used to select superior genotypes.

Keywords: Cold climate, Water deficit stress, Wheat

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

"مقاله پژوهشی"

بررسی پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان تحت شرایط تنش کمبود آب آخر فصل در مناطق مختلف اقلیم سرد ایران با استفاده از تجزیه AMMI و GGE-biplot

اشکبوس امینی[۱]، علی اکبر اسدی[۲]، مهرداد چایچی[۳]، مسعود عزت احمدی[۳]، معرفت قاسمی[۴]، علیرضا عیوضی[۶]، تقی بابایی[۷] و مسعود قدسی[۸]

۱- دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، (نویسنده مسوول: amini_ashk@yahoo.com)
۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران
۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۵- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اردبیل، ایران
۶- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آ.غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران
۷- مربی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران
۸- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۷
صفحه: ۷۸ تا ۹۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تولید ارقام پایدار جدید با عملکرد بالا در مناطقی که با خشکی مواجه هستند ضروری است. عملکرد ارقام مختلف در محیط‌های گوناگون متفاوت بوده و رتبه عملکردی آن‌ها از محیطی به محیط دیگر متغیر است. این تغییرات با عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط شناخته می‌شوند. کاهش اثرات متقابل و پایداری تولید در محیط‌های گوناگون از اهداف به‌نژادی و معرفی ارقام در مناطق مختلف می‌باشد. هدف از این مطالعه ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور و تعیین ژنوتیپ‌های ایده‌آل و معرفی پایدارترین ژنوتیپ گندم در این شرایط بود.

مواد و روش‌ها: جهت بررسی پایداری ۱۷ ژنوتیپ گندم آبی به همراه ارقام شاهد میهن، حیدری و زرینه در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، همدان، مشهد، جلگه‌رخ، میاندوآب، اردبیل و اراک در دو سال زراعی ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفتند. جهت بررسی پایداری، از روش‌های AMMI و GGE-biplot استفاده شد.

یافته‌ها: تجزیه AMMI نشان داد که ده مؤلفه اصلی اول تا دهم معنی‌دار بوده و در مجموع نزدیک به ۹۷٪ از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کردند و دو مؤلفه اصلی اول و دوم در مجموع سهم ۴۶ درصدی را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشتند. بر اساس دو شاخص SSASV و SSiWAAS به‌ترتیب ژنوتیپ‌های G2، G19 و G4 به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. ژنوتیپ G3 پایدارترین ژنوتیپ بود. تجزیه GGE-biplot نشان داد که ژنوتیپ‌های G16، G1، G3 و G7 دارای بیشترین پایداری عمومی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ G16 را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی باشد، در نظر گرفت. در رتبه های بعدی ژنوتیپ‌های G12 و G9 قرار داشتند. از طرف دیگر، محیط ایده‌آلی مشاهده نشد ولی محیط‌های مشهد، اردبیل و کرج در سال اول به‌عنوان نزدیک‌ترین محیط‌ها به محیط ایده‌آل، می‌توانند جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل در اقلیم سرد ایران معرفی شوند.

نتیجه‌گیری: ژنوتیپG3 به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ و سپس ژنوتیپ‌های G16، G1 و G7 دارای بیشترین پایداری عمومی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند به‌طوری‌که ژنوتیپ G16 به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی بود شناسایی شد. محیط‌های مشهد، اردبیل و کرج در سال اول نیز می‌توانند جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم سرد، تنش انتهای فصل، گندم

مقدمه

در به‌نژادی گیاهان زراعی برای شرایط تنش، انتخاب محیط (محیط‌های) مناسب جهت گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به خسارات قابل توجهی که در سال‌های اخیر از تنش‌های محیطی به گیاهان زراعی خصوصاً غلات وارد شده است، ارزیابی واکنش گیاهان زراعی به تنش‌های محیطی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Passioura, 2007). در این زمینه عملکرد دانه و پایداری آن در مناطق متعددی که تنش‌های محیطی وجود دارد، به‌عنوان معیار مهمی در گزینش و معرفی ارقام مورد استفاده قرار گرفته است (Rajaram & Van Ginkel, 2001). سیدیک و همکاران (Siddique et al., 2000) گزارش کردند که بهترین راه جهت حفظ عملکرد در شرایط کمبود آب، کاشت ارقام متحمل به خشکی است.

ژنوتیپ‌های گوناگون معمولاً در محیط‌های متفاوت از لحاظ عملکرد واکنش‌های متفاوتی دارند به‌طوری‌که رتبه عملکردی آن‌ها از یک محیط به محیط دیگر متغیر است. این تغییرات که در نتیجه اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط ایجاد می‌شوند تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط شناخته شده است (Najafi Mirak et al., 2018). کاهش اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و پایداری تولید در محیط‌های مختلف یکی از اهداف به‌نژادی و معرفی ارقام گندم در مناطق مختلف می‌باشد (Yan & Kang, 2003). اثر متقابل ژنوتیپ× محیط باعث تحت تأثیر قرار گرفتن عملکرد در محیط‌های متفاوت شده و در نهایت ارزش واقعی هر ژنوتیپ به‌درستی برآورد نمی‌شود (Scapim *et al.*, 2000). وجود این اثر متقابل، باعث کاهش همبستگی ارزش ژنوتیپی و فنوتیپی می‌گردد و در نتیجه ژنوتیپ‌های موفق در یک محیط ممکن است در محیط دیگر تظاهر ضعیفی داشته باشد (Blanche & Myers, 2006). وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در صفات

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

مهمی مانند عملکرد دانه سبب کندی مراحل به‌نژادی و معرفی ارقام جدید می‌شود (Kang, 1988). بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، اطلاعات مهمی در مورد عملکرد ارقام در محیط‌های متفاوت به محققین ارائه داده و نقش مهمی در ارزیابی پایداری عملکرد و سازگاری آن‌ها ایفا می‌کند (Karadavut & Block, 2010).

علاوه بر پایداری عملکرد، سازگاری ارقام نیز جنبه مهم دیگری است که باید مورد توجه قرار گیرد. هرچند سازگاری مفهوم پیچیده‌ای دارد، اما به‌طور خلاصه می‌توان گفت که سازگاری عبارت از ظرفیت ژنتیکی یک رقم برای ظهور عملکرد بالا و پایدار در محیط‌های متفاوت است (Farshadfar, 1998). با توجه به این‌که تولید ارقام اصلاح شده و سازگار با ظرفیت عملکرد بالا برای هر محیط از نظر اقتصادی هزینه سنگین و صرف وقت زیادی را می‌طلبد، باید ژنوتیپ‌هایی را انتخاب نمود که دارای سازگاری عمومی بالایی بوده و برای چند منطقه متفاوت قابل توصیه بوده و در مناطق اقلیمی مشابه، عملکرد قابل قبولی داشته باشند (Akcura et al., 2006). تجزیه AMMI و روش گرافیکی GGE-biplot از مهم‌ترین روش‌های چندمتغیره تجزیه پایداری به‌شمار می‌روند (Yan & Azlavnics, 2000; Gauch & Zobel, 1997). روش تجزیه AMMI توسط محققین مختلفی مورد استفاده قرار گرفته و مشخص شده است که این روش می‌تواند برای تعیین ژنوتیپ‌های دارای سازگاری عمومی و خصوصی برای مکان‌های مختلف و همچنین برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌های مختلف در محصولات زراعی مورد استفاده قرار گیرد (Elakhdar et al., 2017; Mohammadi & Amri, 2013; Esmailzadeh Moghaddam et al., 2011). در این روش مؤلفه‌های افزایشی برای اثرات اصلی (ژنوتیپ و محیط) و مؤلفه‌های ضرب‌پذیر برای اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط ترکیب می‌شوند (Sadiyah & Hadi, 2016). آقائی سربرزه و همکاران (Aghaee-Sarbarzeh et al., 2012) و نجفی میرک (Najafi Mirak, 2011) با استفاده از روش AMMI ژنوتیپ‌های پایدار گندم را تعیین نمودند و اظهار داشتند که روش یاد شده می‌تواند در تعیین ژنوتیپ‌های حائز سازگاری عمومی و خصوصی برای مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. نجفیان و همکاران (Najafian et al., 2010). با بررسی روابط سازگاری بین ژنوتیپ‌های گندم هگزاپلوئید در نه منطقه معتدل نشان دادند که تجزیه AMMI روش مفیدی برای تجزیه پایداری و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها می‌باشد. اکبرپور و همکاران (Akbarpour et al., 2011) از روش AMMI برای بررسی پایداری عملکرد ۱۱ لاین امیدبخش جو استفاده کردند و بیان داشتند که با استفاده از این روش می‌توان علاوه بر شناسایی ژنوتیپ‌های با سازگاری عمومی، ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی برای مناطق مختلف را نیز شناسایی کرد. پورچیس و همکاران (Purchase et al., 2000) پارامتر ارزش پایداری AMMI (AMMI Stability Value) یا ASV را ارائه نمودند که یکی از پارامترهای جدید تجزیه AMMI بوده و براساس نمرات IPCA1 و IPCA2 مدل AMMI برای هر ژنوتیپ محاسبه می‌شود. براتی و همکاران (Barati et al., 2019) نیز برای بررسی اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد جو تحت تنش شوری، از آماره پایداری ASV و فاصله AMMI استفاده کرده و ژنوتیپ‌های پایدار جو را در شرایط تنش معرفی کردند. پارامتر ارزش پایداری AMMI به‌دلیل سادگی تفسیر و توجیه بالای دو مؤلفه اصلی اول، روش مناسب و قدرتمندی در تجزیه پایداری نسبت به سایر روش‌ها محسوب می‌شود (Zali et al., 2009).

بسیاری از محققین تجزیه GGE-biplot را جهت ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها سودمند ارزیابی کرده‌اند (Bhan et al., 2005; Malvar et al., 2005; Voltas et al., 2005). از این روش، برای تجزیه پایداری گیاهان زراعی مختلف مثل کلزا (Pourdad & Jamshidi Moghadam, 2013)، گندم دوروم (Mohammadi et al., 2014)، گلرنگ (Jamshidi Moghaddam & Pourdad, 2012)، گندم (Yan et al., 2001)، ذرت (Fan et al., 2007)، جو (Dehghani *et al*., 2006) و پنبه (Dimitrios et al., 2008) استفاده شده است. این روش تجزیه برای تعیین یکنواختی یا غیریکنواختی محیط (تعیین محیط کلان)، ارزیابی ویژگی‌های محیط‌های آزمون و شناسایی ژنوتیپ‌های برتر استفاده شده است (Thomason & Phillips, 2006; Samonte et al., 2005; Dardanelli et al., 2006; Casanova et al., 2005). با استفاده از GGE-biplot محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه محیطی که در درون هر گروه محیط‌ها از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها تا حدودی مشابه عمل می‌کنند گروه‌بندی می‌شوند (Mohammadi et al., 2010; Kaya et al., 2006). محققین مختلف تأکید کرده‌اند که روش GGE-biplot در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد، بیشترین کارایی را در توجیه تغییرات داشته و کاربرد آن نتایج بهتر و مؤثری داشته است (Mohammadi et al., 2010; Voltas et al., 2005). این روش از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، به محققین کمک می‌کند تا به‌سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را بررسی کنند (Mohammadi et al., 2010).

با توجه به گستردگی و پراکندگی مناطق واقع در اقلیم سرد کشور، شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و پایدار در این مناطق بخصوص در مناطقی با تنش خشکی انتهای فصل از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در آزمایش‌های چند محیطی، برای تعیین روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تعیین ژنوتیپ‌های ایده‌آل و معرفی پایدارترین ژنوتیپ گندم از طریق روش‌های تجزیه پایداری AMMI و GGE-biplot در شرایط تنش خشکی انتهای فصل اقلیم سرد کشور بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش که در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ به اجرا درآمد، تعداد ۱۷ لاین گندم آبی (منتخب آزمایشات مقایسه عملکرد پیشرفته سراسری اجرا شده در موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶) که دارای تیپ رشد زمستانه و بینابین (Facultative)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

بودند به‌همراه ارقام شاهد میهن، حیدری و زرینه (جمعاً به تعداد ۲۰ ژنوتیپ) در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه‌های تحقیقاتی اقلیم سرد کشور شامل کرج (۵۹ ˚ ۳۵ طول جغرافیایی و ۷۵ ˚ ۵۰ عرض جغرافیایی)، همدان (۸۷ ˚ ۳۴ طول جغرافیایی و ۵۳ ˚ ۴۸ عرض جغرافیایی)، مشهد (۳۴ ˚ ۳۵ طول جغرافیایی و ۲۳ ˚ ۵۹ عرض جغرافیایی)، جلگه‌رخ (۰۲ ˚ ۳۶ طول جغرافیایی و ۰۶ ˚ ۵۹ عرض جغرافیایی)، میاندوآب (۰۸ ˚ ۴۶ طول جغرافیایی و ۰۱ ˚ ۳۷ عرض جغرافیایی)، اردبیل (۶۰ ˚ ۳۹ طول جغرافیایی و ۷۸ ˚ ۴۷ عرض جغرافیایی) و اراک (۰۸ ˚ ۳۴ طول جغرافیایی و ۷۱ ˚ ۴۹ عرض جغرافیایی) مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، دو بار لولر عمود بر هم، کودپاشی و ایجاد فارو (عرض ۶۰ سانتی‌متر) بود. کود پتاس از منبع سولفات پتاس، کود فسفره از منبع فسفات آمونیم به‌صورت پایه و کود ازته از منبع اوره در دو نوبت پایه و سرک به مصرف رسید. هر ژنوتیپ در یک کرت به مساحت ۶ مترمربع کشت گردید. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در مترمربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر ژنوتیپ تعیین گردید. بذور قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به‌نسبت دو در هزار ضدعفونی گردیدند. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک برگ مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر به‌ترتیب به‌مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه رفتن استفاده گردید. بقیه عملیات‌های زراعی شامل مبارزه با علف های هرز و آفات، آبیاری و ... در ایستگاه‌های مختلف تا حدود زیادی یکسان انجام شد. تنش آبی انتهای فصل در مرحله پر شدن دانه اعمال شد به‌طوری‌که از این مرحله به بعد آبیاری قطع گردید (دو مرحله آبیاری کمتر نسبت به شرایط نرمال).

پس از تعیین عملکرد دانه هر ژنوتیپ، تجزیه واریانس ساده در هر سال و هر مکان انجام گردید. سپس با انجام آزمون بارتلت و اثبات یکنواختی واریانس خطاها، تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها انجام پذیرفت. آزمون F منابع تغییر بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات و با فرض تصادفی بودن سال‌ها و ثابت بودن مکان‌ها و ژنوتیپ‌ها انجام شد. برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها، از روش اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثر متقابل ضرب‌پذیر AMMI و تجزیه GGE-biplot استفاده شد. ضمن انجام تجزیه AMMI مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط استخراج و با ترسیم بای‌پلات‌های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین شد (Rodriguez et al., 2007). برای محاسبه آماره ارزش پایداری AMMI، (ASV: AMMI Stability Value) از فرمول زیر استفاده شد (Purchase et al., 2000):

$$ASV = \sqrt{\left(\frac{(SSIPCA\,1)}{(SSIPCA\,2)}(IPCA\,1)\right)^2 + (IPCA\,2)^2}$$

در این فرمول ASV عبارت است از ارزش پایداری AMMI، SSIPCA1 مجموع مربعات مؤلفه اصلی اول و SSIPCA2 مجموع مربعات مؤلفه اصلی دوم و IPCA1 و IPCA2 به‌ترتیب مقدار مولفه اصلی اول و دوم اثر متقابل برای هریک از ژنوتیپ‌ها می‌باشد. آماره ASV به‌دلیل اینکه آثار دو مؤلفه اول اثر متقابل را به‌طور هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌دهد نقش مهمی در تفسیر نتایج تجزیه امی دارد. ژنوتیپ و محیط‌های با مقادیر کم پارامتر ASV پایدار و با مقادیر بیشتر ناپایدار خواهند بود (Purchase et al., 2000)؛ همچنین شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق ($WAAS_i$=Weighted Average of Absolute Scores) نیز با استفاده از رابطه زیر برآورد شد (Olivoto, 2019):

$$WAAS_i = \frac{\sum_{k=1}^{p}|IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^{p} EP_k}$$

در این رابطه، $IPCA_{ik}$، نمره ژنوتیپ i در kامین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPC) و EP_k واریانس توجیه شده به‌وسیله k امین IPC است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAAS به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در نظر گرفته شد (Olivoto, 2019). علاوه بر دو شاخص بالا، شاخص گزینش هم‌زمان (SSI=Simultaneous Selection Index) نیز برای هریک از این دو شاخص محاسبه شد که حاصل جمع رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه هریک از شاخص‌های پایداری AMMI و رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها است (Farshadfar, 2008). تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم‌افزار SAS و تجزیه‌های آماری تجزیه AMMI و GGE-biplot با استفاده از بسته تجزیه آزمایش‌های چند محیطی با نام Metan (Multi Environmenttrail Analysis) در نرم‌افزار R انجام شد (Olivoto, 2019).

نتایج و بحث

معنی‌دار نشدن آزمون بارتلت با میزان آماره کای‌اسکوئر برابر با ۲۰/۳ با درجه آزادی ۱۳، در سطح احتمال یک درصد، نشان‌دهنده یکنواختی واریانس خطا در آزمایشات انجام شده در ایستگاه‌های مختلف و سال‌های انجام آزمایش بود. در تجزیه واریانس مرکب عملکرد ژنوتیپ‌ها، اختلاف معنی‌دار برای اثر سال، مکان، اثر متقابل سال در مکان و همچنین اثر ژنوتیپ، اثر متقابل ژنوتیپ × سال، اثر متقابل ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۲). ژنوتیپ‌های G19، G2، G11، G16 و G1 به‌ترتیب با داشتن عملکردهای ۵/۷۳۴، ۵/۶۲۵، ۵/۶۲۳، ۵/۶۱ و ۵/۵۸۶ تن در هکتار بیشترین و ژنوتیپ‌های G8، G20 و G15 به‌ترتیب با داشتن عملکردهای ۴/۶۸۵، ۴/۹۳۴ و ۵/۲۰۹ تن در هکتار کمترین مقدار عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند (جدول ۴). معنی‌دار شدن اثر ژنوتیپ نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد متفاوت از هم بوده و از این نظر دارای تنوع ژنتیکی هستند. معنی‌دار بودن اثرات متقابل ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان به‌دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مورد بررسی می‌باشد که نشان می‌دهد پاسخ ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف یکسان نبوده و در محیط‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی دارای بیشترین عملکرد بوده‌اند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گندم و ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی

Table 1. Characteristics of wheat genotypes and different investigated stations

Genotype Code کد ژنوتیپ	Pedigree of Genotypes شجره ژنوتیپ‌ها
G1	Mihan
G2	Haydari
G3	Zarrineh
G4	Ghk"s"//Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi/4/55.174/P101//Maya/3/Snb
G5	Ghk"s"/Bow"s"//90Zhong87/3/Shiroodi/4/55.174/P101//Maya/3/Snb
G6	Vorona//Milan/Sha7/3/MV17/4/Pehlivan
G7	Tam113
G8	Unknown/Zolotava/6/Jup/4/Cllf/3/II1453/Odin//Ci134431/Sel6425/Wa00477*2/5/Croc-1/Ae.Squarro1 (213)//Pgo
G9	Charger//CMH80A.768/3*Cno79
G10	MV35-13
G11	MV-Pantalika
G12	Zander//Attila/3*Bcn
G13	Boh4/7/Wa476/3/391//Num/5/W22/5/Ana/6/Tam200/Kasyan
G14	Car422/Ana//Yaco/3/Kauz*2/Trap//Kauz/4/Bucur/5/Bucur
G15	Rumeli
G16	Id80628/3/Cer/Ymh//Hys/4/Cer/Ymh//Hys/5/Tjb368.251/Buc//Anb/Buc
G17	Charger//CMH80A.768/3*Cno79
G18	BEZ1//PBW343*2/KUKUNA (Code:1005)
G19	GRK79//INQALAB 91*2/TUKURU(Code:1015
G20	Kalym (Rus 2005)(code:Rus 2005)

Station Name نام ایستگاه	Crop Season سال زراعی	Code کد	Station name نام ایستگاه	Crop Season سال زراعی	Code کد	Station Name نام ایستگاه	Crop Season سال زراعی	Code کد
Karaj	2018-2019	E1	Arak	2018-2019	E4	Jolge rokh	2018-2019	E7
	2019-2020	E8		2019-2020	E11		2019-2020	E14
Hamedan	2018-2019	E2	Miandoab	2018-2019	E5			
	2019-2020	E9		2019-2020	E12			
Ardabil	2018-2019	E3	Mashhad	2018-2019	E6			
	2019-2020	E10		2019-2020	E13			

اثر اصلی محیط (مجموع سال، مکان و سال × مکان) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (مجموع ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان) به‌ترتیب با ۶۳/۱ درصد و ۱۸/۵ درصد بیشترین سهم و ژنوتیپ با ۴/۴ درصد کمترین سهم را در مجموع مربعات کل واریانس مشاهده شده در آزمایشات داشتند. بالاتر بودن سهم اثر محیط نشان‌دهنده دامنه گسترده‌تر اثر اصلی محیط نسبت به اثر اصلی ژنوتیپ است. در بررسی این ژنوتیپ‌ها در ۷ ایستگاه مختلف اقلیم سرد کشور در شرایط آبیاری نرمال نیز این وضعیت مشاهده گردید. پژوهشگران زیادی نیز چنین سهم بالایی را برای محیط گزارش کرده‌اند (Mohammadi *et al*., 2015, Aghaee-Sarbarzeh *et al*., 2012; Ghaedrahmati *et al*., 2017). سهم اندک ژنوتیپ در توجیه تنوع می‌تواند به این دلیل باشد که در برنامه‌های اصلاحی گندم، ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد انتخاب شده و این ژنوتیپ‌ها نقش کمتری در توجیه تنوع در آزمایش‌های چند محیطی نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشته‌اند (Mohammadi *et al*., 2016; Fan *et al*., 2007). تفاوت بین محیط‌ها می‌تواند به‌دلیل تفاوت‌های اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی طی سال‌ها و مکان‌های انجام آزمایش در طی دوره رشدی گیاه باشد. در ارتباط با معنی‌دار شدن اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه ژنوتیپ با مکان و سال علاوه بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، تفاوت واکنش آن‌ها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم مؤثر بوده است؛ بنابراین صرفاً بر اساس مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نمی‌توان ژنوتیپ با عملکرد بیشتر را تعیین کرد، بلکه باید تجزیه پایداری انجام شود تا ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط مناطق مختلف که ضمن داشتن عملکرد دانه بالا، نوسانات عملکرد آن‌ها نیز در سال‌های مختلف کمتر باشد، شناسایی شوند. بنابراین تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و ارقام شاهد با روش‌های مختلف انجام شد تا ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار شناسایی شوند.

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش کمبود آب انتهای فصل طی دو سال در مناطق مختلف اقلیم سرد

Table 2. Composite variance analysis of grain yield of wheat genotypes under water deficit stress conditions at the end of the season during two years in different cold climate regions

Percentage change of total sum of square درصد تغییرات مجموع مربعات از کل	Mean of square میانگین مربعات	Sum of square مجموع مربعات	Degree of freedom درجه آزادی	S.O.V. منابع تغییرات
0.018	21.02**	21.02	1	سال (Year)
0.384	70.97**	425.8	6	مکان (Place)
0.229	42.4**	254.4	6	سال × مکان (Year×Place)
0.024	0.95	26.65	28	خطای ۱ (Error1)
0.044	2.55**	48.42	19	ژنوتیپ (Genotype)
0.015	0.9**	17.06	19	ژنوتیپ × سال (Genotype×Year)
0.108	1.05**	120.16	114	ژنوتیپ ×مکان (Genotype×Place)
0.062	0.603**	68.7	114	ژنوتیپ × سال × مکان (Genotype×Place×Year)
0.115	0.24	127.17	532	خطای ۲ (Error 2)
		1109.39	839	کل (Total)
			9.03	ضریب تغییرات (Coefficient of variation)

*و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: significant at the probability levels of 5% and 1%, respectively

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

تجزیه AMMI

نتایج تجزیه AMMI برای آثار اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر در جدول ۳ آورده شده است. تجزیه واریانس آثار افزایشی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. ده مؤلفه اصلی اول تا دهم حاصل از تجزیه AMMI معنی‌دار بودند و در مجموع نزدیک به ۹۷٪ از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اولین و دومین مؤلفه اصلی بیشترین سهم (۴۶٪) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشتند و مؤلفه‌های دیگر در درجات بعدی اهمیت قرار گرفتند. بزرگی درصد توجیه واریانس کل توسط هریک از مؤلفه‌ها در تفکیک بهتر ژنوتیپ‌ها و اعتبار روابط مشاهده شده مؤثر است. در روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، ترکیب خطی متغیرها برای تبیین بیشترین مقدار واریانس آن‌ها به‌گونه‌ای برآورد می‌شود که اولین مؤلفه بیشترین مقدار واریانس مؤلفه‌ها را تبیین کند و مؤلفه دوم بیشترین مقدار واریانس باقیمانده را بعد از مؤلفه اول توضیح می‌دهد که توسط مؤلفه اول بیان نشده است (Karimzadeh et al., 2020; Sharifi, 2020). در تطابق با نتایج تحقیق حاضر، آقایی سربزه و همکاران (Aghaee-Sarbarzeh et al., 2012) و (Karimzadeh et al., 2020) نیز سهم پایین دو مؤلفه اصلی اول در توجیه تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را در گندم دوروم در شرایط نرمال گزارش کردند. در مقابل سهم بالای مؤلفه اصلی اول در توجیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توسط محققین دیگری گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت نداشت (Najafi Mirak et al., 2021 & 2019). به‌نظر می‌رسد که این عدم انطباق به‌دلیل تفاوت در شرایط محیطی، تعداد محیط‌ها و تعداد ژنوتیپ‌های مطالعه شده باشد.

جدول ۳- تجزیه AMMI برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش خشکی انتهای فصل در اقلیم سرد

Table 3. AMMI analysis for grain yield of wheat genotypes under water deficit stress conditions in cold climate

S.O.V. منابع تغییرات	Degree of freedom درجه آزادی	Sum of square مجموع مربعات	Mean of square میانگین مربعات	Percentage change of total sum of square درصد تغییرات مجموع مربعات از کل
محیط (Environment)	13	701.23	53.94**	
تکرار × محیط (Environment×Replication)	28	26.65	0.95**	
ژنوتیپ (Genotype)	19	48.42	2.55**	
ژنوتیپ × محیط (Genotype×Environment)	247	205.91	0.83**	
IPCA 1	31	54.95	1.77**	0.267
IPCA 2	29	39.58	1.38**	0.192
IPCA 3	27	26.74	0.99**	0.13
IPCA 4	25	22.82	0.91**	0.111
IPCA 5	23	15.32	0.67**	0.074
IPCA 6	21	13.23	0.63**	0.064
IPCA 7	19	9.77	0.51**	0.047
IPCA 8	17	9.18	0.54**	0.045
IPCA 9	15	4.86	0.32**	0.024
IPCA 10	13	3.52	0.27**	0.017
باقیمانده (Residual)	27	5.54	0.205	
خطا (Error)	532	127.17	0.23	
کل (Total)	1086	1513.3	1.21	

** و *: معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد به ترتیب

** and *: Significant at the levels of 1 and 5%, respectively

ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) مؤلفه اصلی اول (IPCA1) اثر متقابل بالایی با محیط دارند در مقابل، ژنوتیپ‌های دارای مقادیر نزدیک به صفر اثر متقابل پایینی دارند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G6، G3، G10 و G18 دارای کمترین مقادیر IPCA1 بودند ولی تنها ژنوتیپ‌های G3 و G18 دارای عملکرد اندکی بالاتر از میانگین عملکرد کل بودند و به‌همین دلیل می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی شوند (جدول ۴). از آنجا که مؤلفه اصلی اول فقط در حدود ۲۶/۷ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه کرد از این‌رو شاخص ارزش پایداری AMMI (ASV)، میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS) و شاخص انتخاب هم‌زمان بر پایه این دو شاخص نیز محاسبه (جدول ۵) و ژنوتیپ‌های برتر بر اساس آن‌ها شناسایی شدند. شاخص ASV، ژنوتیپ‌های G6، G3، G10 و G4 را با کمترین نمره به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی کرد. براساس شاخص WAAS، ژنوتیپ‌های G14، G17، G2 و G10 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

پژوهشگران دیگری نیز از شاخص ارزش پایداری AMMI و میانگین وزنی نمرات مطلق به‌عنوان روش‌های مفید و مؤثری در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کرده‌اند (Karimzadeh et al., 2012; Mohammadi et al., 2015). از آنجا که در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با هرکدام از شاخص‌های پایداری محاسبه شده، فقط بر جنبه پایداری ژنوتیپ‌ها تأکید شده است، بنابراین ژنوتیپ‌های G10 و G6 با عملکردی کمتر از متوسط عملکرد کل (۵/۴۱۱ تن در هکتار) به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر گزینش شده‌اند. جهت اجتناب از گزینش چنین ژنوتیپ‌هایی به‌عنوان ژنوتیپ برتر، شاخص انتخاب هم‌زمان SSi (Farshadfar, 2008) برآورد شد. مزیت آماره‌های SSi این است که در برآورد آن‌ها به هر دو جنبه پایداری و متوسط عملکرد یک ژنوتیپ توجه شده است بنابراین با استفاده از این شاخص‌ها، امکان گزینش ژنوتیپ‌های پایدار اما با عملکرد پایین، کاهش می‌یابد (Farshadfar et al., 2013). بر این اساس به‌ترتیب ژنوتیپ‌های G18، G3، G2، G4 و G19 بر اساس شاخص

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

SSiASV و ژنوتیپ‌های G2، G19، G1، G17 و G14 شناسایی شدند (جدول ۵).
برمبنای شاخص SSiWAAS به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها

جدول ۴- عملکرد دانه و مؤلفه‌های اصلی اول تا دهم حاصل از تجزیه AMMI برای ژنوتیپ‌های گندم نان

Table 4. Grain yield and principal components 1st to 10th, for bread wheat genotypes

IPCA10 مؤلفه دهم	IPCA9 مؤلفه نهم	IPCA8 مؤلفه هشتم	IPCA7 مؤلفه هفتم	IPCA6 مؤلفه ششم	IPCA5 مؤلفه پنجم	IPCA4 مؤلفه چهارم	IPCA3 مؤلفه سوم	IPCA2 مؤلفه دوم	IPCA1 مؤلفه اول	Grain Yield عملکرد دانه	Genotype ژنوتیپ
-0.35	-0.13	-0.11	-0.05	0.15	-0.09	-0.22	0.06	-0.4	-0.4	5.586	G1
0.17	-0.49	0.55	0.3	-0.43	-0.09	-0.44	0.3	0.22	0.22	5.625	G2
0.45	-0.05	-0.04	0.25	-0.18	0.08	0.27	0.05	0.02	0.02	5.489	G3
0.25	-0.17	-0.09	-0.08	-0.28	-0.64	0.32	-0.74	-0.15	-0.15	5.467	G4
-0.13	0.32	0.25	0.15	0.23	-0.35	-0.35	-0.59	-0.36	-0.36	5.431	G5
0.05	0.05	-0.03	0.31	-0.13	-0.07	0.23	0.76	-0.01	-0.01	5.234	G6
-0.04	0.28	0.17	0.07	0.49	-0.16	0.44	0.77	-0.29	-0.29	5.385	G7
-0.35	0.04	0.19	-0.26	-0.22	-0.02	0.09	0.15	-0.71	-0.71	4.685	G8
0.01	-0.08	-0.33	0.12	-0.08	-0.17	-0.71	0.4	-0.71	-0.71	5.487	G9
0.41	0.23	0.25	-0.12	0.52	-0.35	0.18	-0.18	-0.03	-0.03	5.27	G10
0.04	-0.01	-0.43	-0.17	-0.09	-0.3	-0.23	0.23	1.07	1.07	5.623	G11
-0.09	0.23	-0.17	-0.05	-0.07	-0.32	-0.32	0.04	0.41	0.41	5.527	G12
-0.39	0.11	0.1	0.76	-0.24	0.58	0.58	-0.49	0.3	0.3	5.417	G13
-0.15	-0.22	0.48	-0.73	0.19	0.26	0.26	0.02	0.51	0.51	5.447	G14
0.03	0.11	-0.41	0.2	0.56	-0.19	-0.17	-0.13	0.55	0.55	5.209	G15
-0.1	0.01	0.37	0.02	-0.05	-0.18	-0.14	0.09	0.61	0.61	5.611	G16
0.18	-0.25	-0.34	-0.15	-0.04	0.5	0.69	0.09	-0.55	-0.55	5.502	G17
-0.27	-0.17	-0.49	-0.31	-0.22	0.27	0.24	-0.18	0.09	0.09	5.542	G18
0.08	-0.41	0.02	0.09	0.51	-0.41	-0.43	-0.47	-0.37	-0.37	5.734	G19
0.22	0.6	0.05	-0.04	-0.64	-0.24	-0.24	-0.18	-0.22	-0.22	4.934	G20

جدول ۵- شاخص‌های پایداری، رتبه ژنوتیپ‌ها بر اساس آن‌ها و شاخص‌های انتخاب هم‌زمان برای ژنوتیپ‌های گندم نان

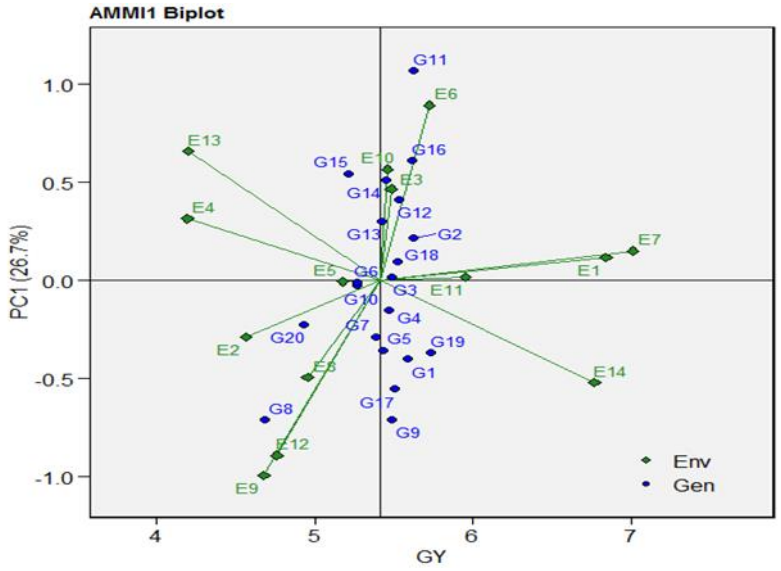
Table 5. Stability indices, genotype rank and simultaneous selection index for bread wheat genotypes

Simultaneous selection index of WAAS شاخص گزینش هم‌زمان WAAS	Simultaneous selection index of ASV شاخص گزینش هم‌زمان ASV	Rank of weighted average of absolute scores رتبه شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق	Weighted average of absolute scores شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق	Rank of AMMI stability value رتبه آماره ارزش پایداری AMMI	AMMI stability value آماره ارزش پایداری AMMI	Rank of grain yield رتبه عملکرد دانه	Genotype ژنوتیپ
13	20	8	0.3	15	0.81	5	G1
5	12	3	0.18	10	0.58	2	G2
28	11	19	0.51	2	0.07	9	G3
16	15	5	0.25	4	0.31	11	G4
20	22	7	0.3	9	0.56	13	G5
30	18	13	0.34	1	0.07	17	G6
26	22	11	0.33	7	0.5	15	G7
38	37	18	0.45	17	0.98	20	G8
26	29	16	0.39	19	1.35	10	G9
20	19	4	0.2	3	0.23	16	G10
20	23	17	0.4	20	1.52	3	G11
19	18	12	0.34	11	0.59	7	G12
24	20	10	0.33	6	0.41	14	G13
13	26	1	0.09	14	0.79	12	G14
27	31	9	0.31	13	0.76	18	G15
18	22	14	0.35	18	1.25	4	G16
10	24	2	0.18	16	0.86	8	G17
21	11	15	0.36	5	0.34	6	G18
7	13	6	0.3	12	0.7	1	G19
39	27	20	0.58	8	0.54	19	G20

شکل ۱ نمودار بای‌پلات اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل در مقابل میانگین عملکرد دانه (AMMI1) را نشان می‌دهد. در این نمودار محور افقی نشان‌دهنده اثرات اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکردها و محور عمودی اثرات متقابل ضرب‌پذیر یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل می‌باشد. خط عمود میانه این نمودار از میانگین کل آزمایش می‌گذرد، ژنوتیپ‌ها و مکان‌هایی که در سمت راست این خط قرار می‌گیرند، دارای عملکردی بالاتر از میانگین کل (۴/۴۱۱ تن در هکتار) می‌باشند. محور افقی مرکز این نمودار (IPCA1) نشان‌دهنده نبود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط می‌باشد. هر چه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به خط افقی نزدیک‌تر باشند، اثرات متقابل پایین‌تری دارند (Yan et al., 2000). همان‌طور که گفته شد ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که اثر متقابل بالایی را نشان می‌دهند دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل می‌باشند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G6، G10، G3، G18 و تا حدودی G4 از پایداری بیشتری برخوردار هستند. از بین ارقام شاهد مورد استفاده در این بررسی رقم زرینه با کد G3 دارای کمترین اثر متقابل با محیط بود و پایداری بیشتری با محیط‌های مورد بررسی نشان داد که مشخص می‌کند این رقم به‌عنوان یک رقم تازه معرفی شده می‌تواند برای اقلیم سرد کشور مناسب باشد. اگر ژنوتیپ و محیطی از لحاظ اولین مؤلفه اثر متقابل هم علامت باشند، دارای اثر متقابل مثبت و

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

اگر از نظر این مؤلفه دارای علامت یکسان نباشند، اثر متقابل منفی دارند. محیطهای E1، E7، E11، E6، E4، E13، و E10 با ژنوتیپهای G11، G16، G12، G2، G15، G18، G13 و G14 اثر متقابل مثبت داشتند. در این نمودار ژنوتیپها و محیطهایی که در امتداد یک خط عمودی هستند، عملکرد یکسانی دارند و همچنین ژنوتیپها و محیطهایی که در امتداد یک خط افقی قرار گرفته باشند، اثر متقابل مشابهی را نشان میدهند. ژنوتیپهایی که دارای عملکرد کمتری باشند، اما دارای مقادیر مثبت برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل باشند، برای کاشت در مناطق و نواحی ضعیف و فقیر مطلوب میباشند؛ به بیان بهتر با مناطق فقیر اثر متقابل مثبت دارند. این ژنوتیپها نسبت به سایر ژنوتیپها در محیطهای فقیر عملکرد بهتری خواهند داشت. در این مطالعه ژنوتیپ G15 چنین حالتی را نشان داد. محیطهای دارای مقادیر بزرگ برای اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل مانند E6، E12 و E9 جهت تمایز و غربال ژنوتیپها مناسب میباشند. در مقابل، محیطهایی که دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی اثر متقابل نزدیک به صفر هستند مانند E5، E11 و تا حدودی E1 و E7، (کرج، میاندوآب و جلگه رخ در سال اول و اراک سال دوم) جهت تمایز و جدا کردن ژنوتیپها مناسب نیستند.



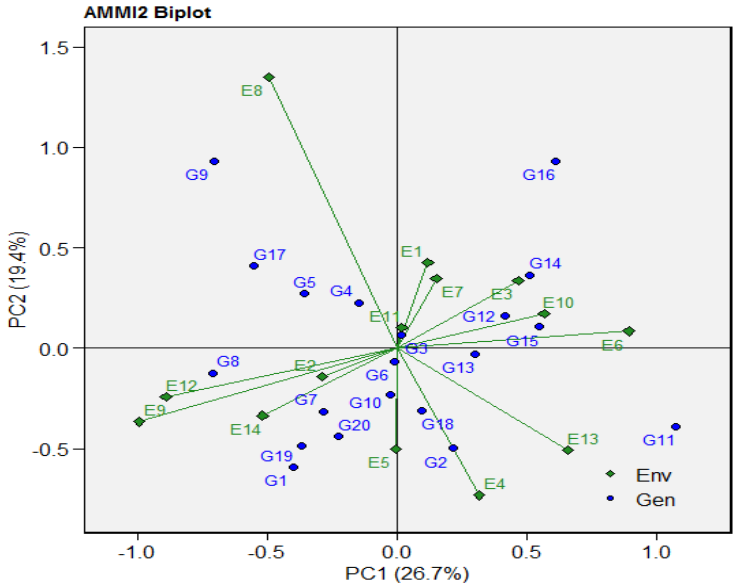
شکل ۱- نمودار بایپلات AMMI1 برای ۲۰ ژنوتیپ گندم در ۱۴ محیط اقلیم سرد با تنش خشکی انتهای فصل

Figure 1. AMMI1 biplot diagram for wheat genotypes in 14 cold climate environments with late season drought stress

از نمودار بایپلات دومین مؤلفه اصلی حاصل از تجزیه AMMI (AMMI2) که در آن محیطها از طریق خطهایی به مبدأ بایپلات وصل میشوند برای ارزیابی توانایی جداکنندگی یا تفکیک (Discriminating) محیطها و درک روابط بین آنها استفاده میشود. بر این اساس محیطهای E8، E12، E9، E14، E6، E13 و E4 (کرج، میاندواب، همدان، جلگه رخ و مشهد در سال دوم و مشهد و اراک در سال اول) با بردارهای بلند، از توانایی جداکنندگی بالایی برخوردار بودند و میتوانند کارایی نسبی ژنوتیپها را بهدرستی ارزیابی کرده و ژنوتیپها را بهتر تفکیک کنند. برخلاف AMMI2، در این بایپلات مشاهده میشود که تمامی محیطها جهت تفکیک ژنوتیپها مناسب هستند. این حالت شاید بهدلیل شرایط اقلیمی محیطهای موردبررسی (اقلیم سرد) و قابلیت کمتر توجیه تغییرات در در دو مولفه اصلی در تجزیه AMMI باشد. این محیطها میتوانند برای گزینش ژنوتیپهای ویژه، با توجه به تقسیم محیطهای هدف به محیطهای کلان استفاده شوند. محیطهای دیگر که در نزدیکترین فاصله از مبدأ بایپلات قرار دارند، مانند محیط E11 توانایی جداکنندگی ندارند و اطلاعات اندکی در مورد ژنوتیپها ارائه میدهند و از اینرو نباید بهعنوان محیطهای آزمایشی مرجع به کار گرفته شوند (Karimzadeh et al., 2020). از دیگر کاربردهای این بایپلات، بررسی همبستگی بین محیطها است (karimzadeh et al., 2020). بر این اساس، محیطهای E2، E12، E9 و E4 (همدان و اراک سال اول و همدان و میاندواب سال دوم) از یک طرف و E1، E7، E3، E10 و E6 (کرج، جلگه رخ، اردبیل و مشهد سال اول و اردبیل سال دوم) بیشترین همبستگی را با هم داشتند. مشاهده می شود که دو محیط همدان و اردبیل کاملا با هم متفاوت هستند. در این بایپلات همچنین مشاهده میشود که ژنوتیپ G3 در نزدیکی مرکز بایپلات پایدارترین ژنوتیپها بودند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]



شکل ۲- بای‌پلات AMMI2 برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر گندم نان و تفکیک‌کنندگی محیط‌ها بر اساس دو مؤلفه اصلی اول و دوم

Figure 2. Biplot of AMMI2 to identify superior genotypes and separate environments based on the first and second principal components

تجزیه GGE-biplot

میانگین عملکرد و پایداری

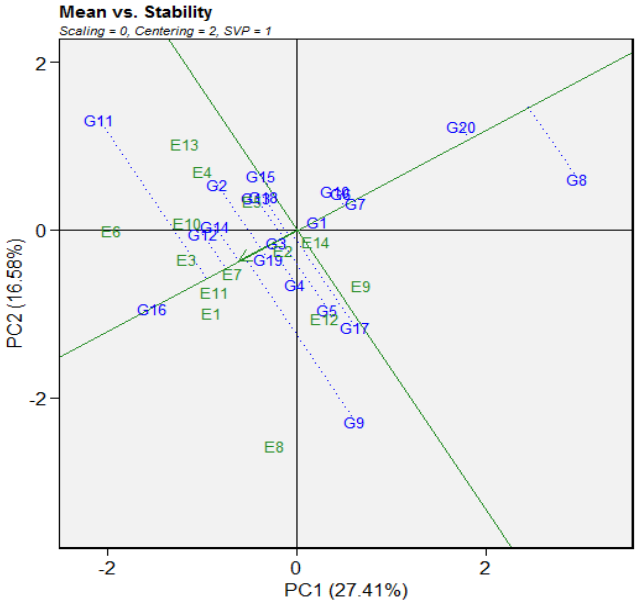
تجسم میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها از طریق ترسیم یک مختصات محیط متوسط در بای‌پلات (AEC: Average Environment Coordinate). مبتنی بر ژنوتیپ حاصل می‌شود. شکل ۳، رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس میانگین عملکرد دانه و میزان پایداری در محیط‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. ابتدا یک محیط متوسط که با یک دایره کوچک (در شکل مشخص نیست) نشان داده شده است، با استفاده از میانگین نمره‌های PC1 و PC2 محیط‌ها تعریف می‌شود. خطی که از مبدأ بای‌پلات و محیط متوسط عبور می‌کند را می‌توان به‌عنوان محور محیط متوسط در نظر گرفت که عبارت از محور افقی AEC است. ارقام در طول این محور رتبه‌بندی شده و پیکان موجود در روی این محور، میانگین عملکرد بیشتر را نشان می‌دهد. بر این اساس میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به ترتیب زیر می‌باشد:

G16>G11>G12>G4>G9>G19>G2>G4>G3>G18 >G5>G17>G15>G1>G10>G6>G6>G7>G20>G8

محور عمودی AEC از یک خط با دو پیکان تشکیل می‌شود که از مبدأ بای‌پلات می‌گذرد و عمود بر محور افقی AECاست. عمود بودن نشان دهنده مستقل بودن است؛ بنابراین اگر محور افقی AEC نشان‌دهنده ژنوتیپ باشد، محور عمود بر AEC برآوردی از اثر متقابل ژنوتیپ و محیط مرتبط با هر ژنوتیپ را فراهم می‌کند که معیار تغییرپذیری یا ناپایداری ژنوتیپ‌ها است (Yan et al., 2007) محور عمودی بیان می‌دارد که تصاویر بزرگ‌تر صرف‌نظر از جهت آن‌ها به مفهوم ناپایداری بیشتر است. بر این اساس، ژنوتیپ‌های نزدیک به محور افقی AEC شامل G16، G1، G3 و G7 دارای بیشترین پایداری عمومی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها می‌باشند. بقیه ژنوتیپ‌ها که نزدیک به بالا و پایین بای‌پلات قرار دارند، متغیرتر بوده و پایداری کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند (مخصوصاً ژنوتیپ‌های G11، G9، G17، G8 و G5). ژنوتیپ G6 دارای پایداری بالا ولی کمترین عملکرد نسبت به بقیه بود. مشاهده می‌شود که ارقام شاهد میهن (G1) (مقاوم به تنش خشکی انتهای فصل و با سطح زیر کشت زیاد در اقلیم سرد کشور) و رقزرینه (G3) (رقم تازه معرفی شده در این اقلیم) در گروه ژنوتیپ‌های پایدار قرار می‌گیرند. البته رقم شاهد حیدری نیز جزء ارقام خوب و تا حدودی قدیمی در این اقلیم بوده که برای مناطق خاصی در اقلیم سرد می‌توان آن را توصیه کرد.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]



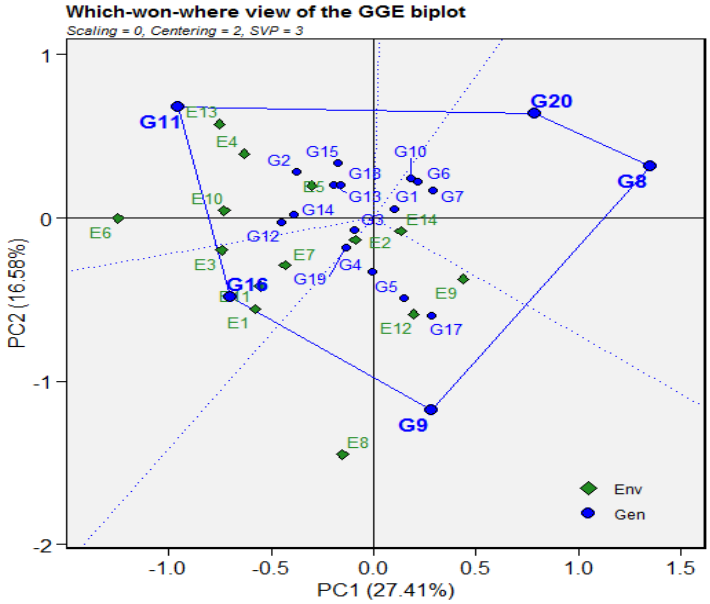
شکل ۳- ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم در محیط‌های مورد بررسی به‌طور هم‌زمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد

Figure 3. Evaluation of wheat genotypes in the investigated environments simultaneously based on grain yield and yield stability

الگوی کدام-برتر-کجا

شکل ۴، نمایش چندضلعی از ۲۰ ژنوتیپ مورد بررسی در ۱۴ محیط را نشان می‌دهد. تجسم الگوی کدام-برتر-کجا در داده‌های چند محیطی برای مطالعه امکان وجود محیط‌های کلان در یک منطقه اهمیت دارد. نمای چندضلعی بای‌پلات، بهترین روش برای تجسم الگوهای اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و تفسیر صحیح یک بای‌پلات است (Kaya et al., 2006). چندضلعی با پیوستن ژنوتیپ‌هایی که دورترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند (ارقام رأس)، به‌وسیله خطوط مستقیم ترسیم می‌شود، به‌طوری‌که ژنوتیپ‌های دیگر در درون چندضلعی قرار می‌گیرند. در این مدل هرچه ژنوتیپ‌ها به مرکز بای‌پلات نزدیک‌تر باشند، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در عملکرد آن‌ها کمتر بوده و از پایداری بیشتری برخوردار هستند. بنابراین ژنوتیپ‌هایی که در این موقعیت قرار می‌گیرند، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار قابل توصیه می‌باشند. در مقابل، ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز بای‌پلات هستند به‌ویژه آن‌هایی که در رأس چندضلعی این بای‌پلات قرار می‌گیرند، از پایداری عملکرد ضعیفی برخوردار بوده ولی دارای سازگاری خصوصی با مکان‌هایی هستند که کمترین زاویه را با بردار آن‌ها در بای‌پلات دارند (Gauch and Zobel, 1997). ژنوتیپ‌های رأس، بردارهای طویلی در جهت‌های مربوط به خود دارند که معیاری از میزان پاسخ به محیط است و لذا در زمره ژنوتیپ‌های واکنش‌پذیر هستند. سایر ژنوتیپ‌ها در جهت‌های مربوط به خود واکنش کمتر نشان می‌دهند. قرار گرفتن ژنوتیپ‌های G1 و G3 نزدیک به مبدأ نشان می‌دهد که این ژنوتیپ‌ها در کلیه محیط‌ها دارای رتبه یکسانی بوده و به محیط‌های مورد بررسی واکنش نشان نمی‌دهند و در کل پایداری عمومی بالایی دارند. ژنوتیپ‌های رأس در این مطالعه G11، G16، G9، G8 و G20 بودند. البته دو ژنوتیپ G8 و G20 دارای شرایط مشابهی بودند. این ژنوتیپ‌ها ازنظر عملکرد دانه بهترین یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها بودند، زیرا بیشترین فاصله را از مرکز بای‌پلات داشتند. خطوط عمود به ضلع‌ها، چندضلعی بای‌پلات را به چند بخش تقسیم می‌کنند هر بخش دارای یک ژنوتیپ رأس است و سایر ژنوتیپ‌ها در برخی یا تمام محیط‌های آزمون از کمترین عملکرد برخوردار هستند. بر اساس شکل الگوی چندضلعی بای‌پلات، محیط‌ها به ۴ گروه محیطی (محیط کلان) و ژنوتیپ‌ها به چهار گروه تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط‌های E13، E4، E6، E5 و E10 بود و ژنوتیپ G11 ژنوتیپ برتر در این محیط‌ها بود. در این گروه محیطی ژنوتیپ‌های G15، G2، G12، G13، G18 و G14 علاوه بر ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی وجود داشتند. این ژنوتیپ‌ها نیز سازگاری خصوصی بالایی با محیط‌های قرار گرفته در آن قسمت و شباهت بالایی با ژنوتیپ قرار گرفته در رأس چندضلعی داشتند. دومین گروه محیطی شامل محیط‌های E1، E11، E3 و E7 بودند که در این محیط کلان نیز ژنوتیپ G16 بیشترین عملکرد را نشان می‌داد و ژنوتیپ G19 در رده بعدی اهمیت قرار داشت. سومین گروه محیطی شامل محیط‌های E8، E12، E9 و E2 بودند که در این محیط کلان نیز ژنوتیپ G9 بیشترین عملکرد را نشان می‌داد و ژنوتیپ‌های G17، G5 و G4 در رده‌های بعدی اهمیت قرار داشتند. گروه محیطی چهارم شامل محیط E14 با ژنوتیپ‌های رأس G8 و G20 به‌همراه ژنوتیپ‌های G10، G1، G6 و G7 بود. البته به‌نظر برخی از پژوهشگران به‌دلیل این‌که این نوع نمودار تکرارپذیر نمی‌باشد بنابراین امکان جدا نمودن محیط‌ها به‌صورت محیط‌های کلان وجود ندارد (Navabi et al., 2006). با این وجود تعیین محیط‌های کلان به پژوهشگران کمک می‌کند تا در پژوهش‌های بعدی از تکرار آزمایش در محیط‌های مشابه و یکسان خودداری کنند (Yan & Rajcan, 2002).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]



شکل ۴- نمایش چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط برای ژنوتیپ‌های گندم نان در ۱۴ محیط اقلیم سرد تحت شرایط تنش خشکی انتهای فصل

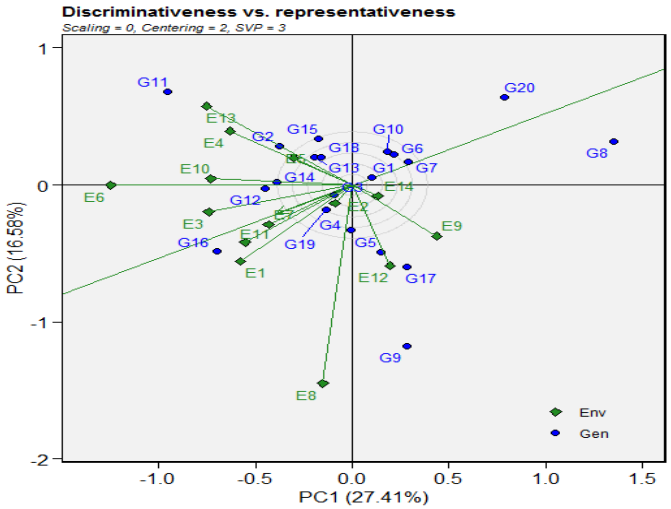
Figure 4. Polygon representation of genotype-environment interaction for bread wheat genotypes in 14 cold climate environments under late season drought stress conditions

روابط بین محیط‌ها و ژنوتیپ‌ها

اگرچه آزمایش‌های چند محیطی اغلب برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند اما می‌توان از اطلاعات به‌دست آمده برای ارزیابی محیط‌ها نیز بهره برد. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها برمی‌گردد ولی توانایی نمایندگی یک محیط بیانگر این است که محیط موردنظر تا چه میزان نماینده شرایط سایر محیط‌های آزمایشی است؛ بنابراین محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو ویژگی را داشته باشد تا بتواند ژنوتیپ‌های سازگار را تشخیص دهد. این خصوصیت در مدل GGE-biplot با عنوان قدرت تفکیک محیط‌ها در برابر میزان نمایندگی آن‌ها (Discrimitiveness vs Representativeness) ارائه شده است (Yan & Tinker, 2006). همان‌طور که گفته شد نمای برداری GGE-biplot می‌تواند اطلاعات مربوط به واریانس درون محیط را نیز ارائه دهد، به‌طوری‌که طول بردارهای محیط (در یک بای‌پلات محیط محور) تقریباً متناسب با انحراف استاندارد ژنوتیپ‌ها در هر محیط است (Kroonenberg, 1995)، درحالی‌که برای یک بای‌پلات متمرکز بر ژنوتیپ، تقریباً تنوع را در میان محیط‌ها نشان می‌دهد (Yan & Kang, 2003). طول بردارهای محیط متناسب با انحراف استاندارد در محیط‌های مربوطه و معیار توانایی تمایز محیط‌ها است (Yan & Tinker, 2006). توضیح این‌که محیط‌های با زاویه بسته نسبت به خط AEC، به‌خصوص آن‌هایی که بردارهای بلندتری نیز دارند، علاوه بر نمود عملکرد بالا (نمایندگی)، به‌خوبی می‌توانند ژنوتیپ‌های پایدار را از ژنوتیپ‌های ناپایدار تمیز دهند. این نمای بای‌پلات (شکل ۵) نشان داد که محیط‌های با توانایی تمایز و نمایندگی (کوچک‌ترین زاویه) (به‌عنوان‌مثال محیط‌های E7، E3، E11 و E1) محیط‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار هستند. محیط‌های با توانایی تمایز ولی غیر نماینده (به‌عنوان‌مثال محیط‌های E13، E4، E10 و E6 از یک طرف و محیط‌های E8، E12 و E9 با همبستگی بالا از طرف دیگر) برای گزینش ژنوتیپ‌های خاص با توجه به محیط‌های کلان قابل استفاده هستند. این دیدگاه از بای‌پلات همچنین محیط‌های اضافه را مشخص می‌کند. برخی از محیط‌ها با یکدیگر همبستگی مثبت دارند، بنابراین اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌های به‌دست آمده از این محیط‌ها مشابه خواهند بود. اگر این شباهت در طول سال‌ها قابل تکرار باشد، این محیط‌ها اضافه هستند و یک محیط واحد کفایت می‌کند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

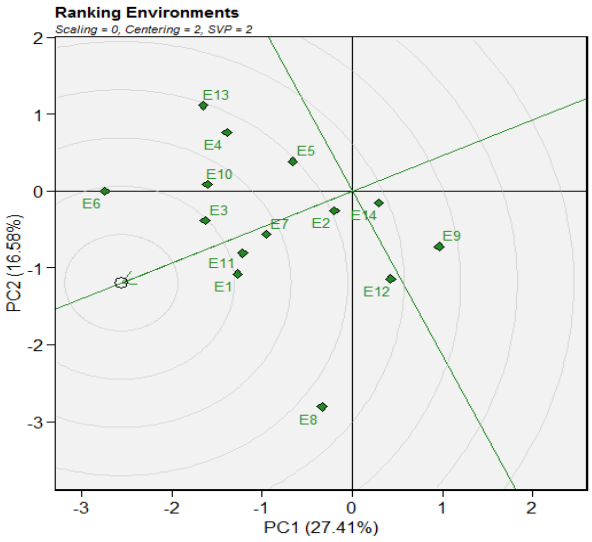
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]



شکل ۵- روابط میان محیط‌های مورد بررسی و مقایسه هم‌زمان این محیط‌ها از نظر قابلیت تفکیک ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن آن‌ها
Figure 5. Relationships between the investigated environments and the simultaneous comparison of these environments in terms of the ability to separate genotypes against their representativeness

رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل

یکی دیگر از ویژگی‌های مهم نمودار بای‌پلات محیط‌ها، میزان نمایندگی محیط آزمایشی از محیط کلان است. محیط‌ها را بر مبنای فاصله آن‌ها از محیط ایده‌آل فرضی رتبه‌بندی می‌کنند. محیط ایده‌آل فرضی محیطی است که دارای بیشترین قابلیت بیانگری و تمایز باشد و از نظر مکانی در مرکز دوایر هم‌مرکز بای‌پلات قرار دارد (Yan & Kang, 2003). زاویه بین بردار هر محیط و محور مختصات محیط متوسط (محور افقی) شاخصی برای تشخیص میزان بیانگری محیط است. هر چقدر این زاویه کوچک‌تر باشد میزان بیانگری بیشتر بوده و محیط موردنظر نماینده بهتری از محیط کلان هدف خواهد بود. اگر محیط‌های آزمایش نماینده محیط کلان نباشند، ممکن است اطلاعات گمراه کننده‌ای درباره ژنوتیپ‌های مورد آزمایش ارائه دهند. بنابراین، محیط ایده‌آل محیطی است که می‌تواند به‌عنوان نماینده بقیه محیط‌های آزمایش باشد و نیز دارای بیشترین توانایی تمایز ژنوتیپ‌ها می‌باشد (Jafari & Farshadfar, 201). در این پژوهش محیط ایده‌آلی مشاهده نشد ولی محیط‌های کرج، ادبیل و مشهد در سال اول نزدیک‌ترین محیط‌ها به محیط ایده‌آل فرضی بودند (شکل ۶) و به‌عنوان محیط‌های مطلوب جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل در اقلیم سرد کشور معرفی می‌شوند. از نمودار بای‌پلات محیط‌ها به‌منظور ارزیابی قدرت تمایز و بیانگری محیط‌ها در کلزا (Pourdad & Jamshidi Moghaddam, 2013)، گندم نان (Jafari & Farshadfar, 2018) و گندم دوروم (Najafi Mirak et al., 2018) نیز استفاده شده است.

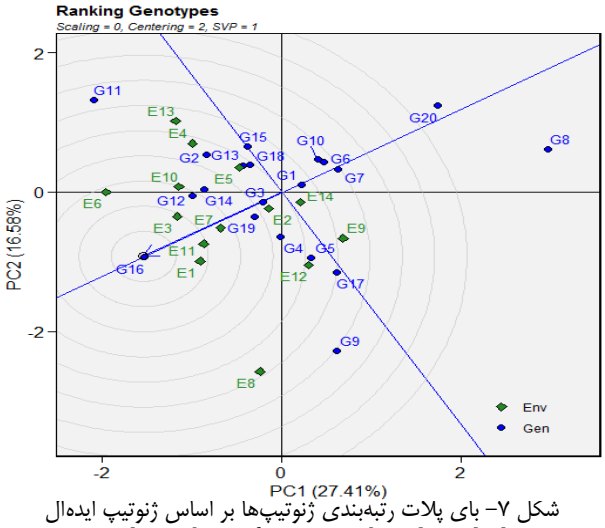


شکل ۶- بای‌پلات رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس محیط ایده‌آل
Figure 6. Biplot ranking of genotypes based on ideal environment

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌آل

دایره کوچک در شکل که روی محور افقیAEC واقع است و با یک پیکان به آن اشاره شده است، نشان‌دهنده رقم ایده‌آل است که دارای بالاترین عملکرد در محیط‌های موردمطالعه بوده و کاملاً پایدار نسبت به شرایط محیطی می‌باشد زیرا بر محور افقی AEC قرار گرفته است (Roustaei *et al.*, 2003). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط باشد، تعریف شده است. چنین رقم ایده‌آلی به‌ندرت در واقعیت وجود دارد. بااین‌حال، می‌توان آن را به‌عنوان یک مرجع برای ارزیابی ارقام استفاده کرد. برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان مرجع ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بای‌پلات به‌منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۷). دوایر هم‌مرکز، با برخورداری از ژنوتیپ ایده‌آل در مرکز، به تجسم فاصله بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و رقم ایده‌آل کمک می‌کنند. همان‌طور که گفته شد ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها قرار می‌گیرد ژنوتیپی با میانگین عملکرد بالا و دارای پایداری عملکرد بالاست. بنابراین ژنوتیپ G16 را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی باشد، در نظر گرفت. در مرحله بعد ژنوتیپ‌های G12 و G19 نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل قرار دارند. ولی ژنوتیپ‌های G8 و G20 با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب شناخته شدند. مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل فرضی برای محصولات زراعی مختلف مثل ذرت دانه‌ای (Shiri & Bahrampour, 2015) و گندم نان (Jafari & Farshadfar, 2018) گزارش شده است.



شکل ۷- بای پلات رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ ایده‌ال
Figure 7- Biplot ranking of genotypes based on ideal genotype

نتیجه‌گیری کلی

در این بررسی با استفاده از تجزیه AMMI، بر اساس دو شاخص SSiASV و SSiWAAS به‌ترتیب ژنوتیپ‌های G2، G19 و G4 به‌عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. ژنوتیپ‌ها G3 در نزدیکی مرکز بای‌پلات پایدارترین ژنوتیپ‌ها بود. تجزیه GGE-biplot نشان داد که ژنوتیپ‌های G16، G1، G3 و G7 دارای بیشترین پایداری عمومی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند. محیط‌ها به ۴ گروه محیطی (محیط کلان) و ژنوتیپ‌ها نیز به چهار گروه تقسیم شدند. ژنوتیپ G16 را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی باشد، در نظر گرفت. در مرحله بعد ژنوتیپ‌های G12 و G9 قرار داشتند. از طرف دیگر، محیط ایده‌آلی مشاهده نشد ولی محیط‌های مشهد سال اول، اردبیل سال اول و کرج سال اول به‌عنوان نزدیک‌ترین محیط‌ها به محیط ایده‌آل، می‌توانند جهت گزینش ژنوتیپ‌های برتر گندم در شرایط تنش خشکی آخر فصل در اقلیم سرد کشور معرفی شوند.

منابع

Aghaee-Sarbarzeh, M., Dastfal, M., Farzadi, H., Andarzian, A., Shahbazpour Shahbazi, A., Bahari, M. & Rostami, H. (2012). Evaluation of durum wheat genotypes for yield and yield stability in warm and dry areas of Iran. *Seed and Plant Improement Journal*, 28-1(2), 315-325 (In Persian).

Akbarpour, O. A., Dehghani B., & Sorkhi-Lalehloo, H. (2011). Investigating univariate and multivariate stability parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.) promising genotypes in cold climates of Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(1), 23-32 (In Persian).

Akcura, M., Kaya, Y. Taner S., & Ayranci, R. (2006). Parametric stability analyses for grain yield of durum wheat. *Plant Soil Environment*, 52(6), 254-261.

Barati, A., Tabatabaee, S. A., Mahlooji, M. & Saberi, M. H. (2019). Evaluation of grain yield and it's stability in barley promising lines in saline areas. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1), 1-13 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

Blanche, S. B., & Myers, G. O. (2006). Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*, 46, 946-949.

Bhan, M. K., Pal, S., Rao, B. L., Dhar, A. K., & Kang, M. S. (2005). GGE biplot analysis of oil yield in lemongrass. *Journal of New Seeds, 7*, 127-139.

Casanoves, F., Baldessari, J. & Balzarini, M. (2005). Evaluation of multienvironment trials of peanut cultivars. *Crop Science*, 45, 18-26.

Dardanelli, J. L., Balzarini, M., Martínez, M. J., Cuniberti, M., Resnik, S., Ramunda, S. F., Herrerob, R. & Baigorrib, H. (2006). Soybean maturity groups, environments, and their interaction define mega-environments for seed composition in Argentina. *Crop Science*, 46, 1939-1947.

Dehghani, H., Ebadi, A. & Yousefi, A. (2006). Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. *Agronomy Journal*, 98, 388-393.

Dimitrios, B., Christos, G., Jesus, R. & Eva, B. (2008). Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agronomy Journal*, 100, 1230-1236.

Elakhdar, A., Kumamaru, T., Smith, K. P., Brueggeman, R. S., Capo-chichi, L. J. A. & Solanki, S. (2017). Genotype by environment interactions (GEIs) for barley grain yield under salt stress condition. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 20(3), 193-204.

Esmailzadeh Moghaddam, M., Zakizadeh, M., Akbari Moghaddam, H., Abedini Esfahlani, M., Sayahfar, M., Nikzad, A. R., Tabib Ghafari, S. M. & Lotfali Ayeneh, G. A. (2011). Genotype × environment interaction and stability of grain yield of bread wheat genotypes in dry and warm areas of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 27(2), 257-273 (In Persian).

Fan, X. M., Kang, M. S., Chen, H., Zhang, Y., Tan, J. & Xu, C. (2007). Yield stability of maize hybrids evaluated in multienvironment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99, 220-228.

Farshadfar, E., Mahtabi, E. & Jowkar, M. M. (2013). Evaluation of genotype × environment interaction in chickpea genotypes using path analysis. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(6), 583-593.

Farshadfar, E. (2008). In corporation of AMMI stability value and Grain yield in a single Nonparametric Index (GSI) in Bread wheat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(14), 1791-1796.

Farshadfar, E. (1998). Application of biometric genetics in plant breeding. Taghe-Bostan Press, Razi University, 396 pp (In Persian).

Gauch, H. G. & Zobel, R. W. (1997). Identifying mega-envitonments and targeting genotypes. *Crop Science*, 31, 311-326.

Ghaedrahmati, M., Hosseinpour, T. & Ahmadi, A. (2017). Study of grain yield stability of durum wheat genotypes using AMMI. *Journal of Crop Breeding*, 9, 67-75 (In Persian).

Jafari, T. & Farshadfar, E. (2018). Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. *Cereal Research*, 8, 199-208 (In Persian).

Jamshidi Moghaddam, M. & Pourdad, S. (2012). Evaluation of seed yield adaptability of spring safflower genotypes using nonparametric parameters and GGE biplot method in rain-fed conditions. *Seed and Plant Improvement Journal*, 29(1), 29-41.

Kang, M. S. (1988). A rank-sum method for selecting high yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communication*, 16, 113-115.

Karadavut, U., Palta, C., Kavur maci, Z. & Block, Y. (2010). Some grain yield parameters of multi-environmental trials in faba bean (*Vicia faba*) genotypes. *International Journal of Agricultural Research*, 12(2), 217-220.

Karimzadeh, R., Hosseinpour, T., Sharifi, P., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo, K. & Keshavarzi, K. (2020). Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions, *Cereal Research*, 10(2), 135-147 (In Persian).

Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N. & Shefazadeh, M. K. (2012). Using different aspects of stability concepts for interpreting genotype by environment interaction of some lentil genotypes. *Australian Journal of Crop Science*, 6(6), 1017-1023.

Kaya, Y., Akcura, M. & Taner. S. (2006). GGE-bi-plot analysis of multi environment yield trials in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 325-337.

Kroonenberg, P. M. (1995). Introduction to biplots for GE tables. Department of Mathematics, Research Report 51. Australia: Univ. of Queensland, 22 p.

Malvar, R. A., Revillaa, P., Butrona, A., Gouesnardc, B., Boyatc, A., Soengasa, P., Alvarezb, A. & Ordas, A. (2005). Performance of crosses among French and Spanish maize populations across environments. *Crop Science*, 45, 1052-1057.

Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, G., Ahmadi, H., Abedi-Asl, G. & Eskandari, M. (2016). Asssessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. *Applied Field Crops Research*, 29(4), 25-42 (In Persian).

Mohammadi, R., Farshadfar, E. & Amri, A. (2015). Interpreting genotype environment interactions for grain yield of rainfed durum wheat in Iran. *The Crop Journal*, 3(6), 526-535.

Mohammadi, R., Armion, M., Zadhassan, E. & Eskandari, M. (2014). Analysis of genotype and environment interaction for grain yield in rain-fed durum wheat. Journal of Dryland Agriculture of Iran, 1(4), 23-32 (In Persian).

Mohammadi, R., & Amri, A. (2013). Genotype × environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica*, 192(2), 227–249.

Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A., & Ceccarelli, S. (2010). Yield stability of rainfed durum wheat and GGE bi-plot analysis of multi-environment trials. *Crop and Pasture Science*, 61, 92-101.

Najafi Mirak, T., Agaee Sarbarzeh, M., Moayedi, A., Kaffashi, A. & Sayahfar, M. (2021). Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method. *Journal oF Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2), 17-28.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]

Najafi Mirak, T., Moayedi, A. A., Sasani, S. & Ghandi, A. (2019). Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(2), 127-138 (In Persian).

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, 1-12 (In Persian).

Najafi Mirak, T, Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M. & Zali, H. (2018). Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Agrobreed*, 20(2), 126-138 (In Persian).

Najafi Mirak, T. (2011). Study of grain yield stability of bread wheat genotypes in cold agro-climatic zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(2), 380-394 (In Persian).

Najafian, G., Kaffashi, A. K. & Jafar-Nezhad, A. (2010). Analysis of grain yield stability in hexaploid wheat genotypes grown in temperate regions of Iran using additive main effects and multiplicative interaction. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12, 213-222 (In Persian).

Navabi, A., Yang, R. C., Helm, J. & Spaner, D. M. (2006). Can spring wheat-growing megaenvironments in the northern Great Plains be dissected for representative locations or niche-adapted genotypes, *Crop Science*, 46(3), 1107-1116.

Olivoto, T. (2019). Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. https://github.com/TiagoOlivoto/metan (accessed 24 June 2019).

Passioura, J. (2007). The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 113-117.

Pourdad, S. S. & Jamshidi Mohjadam, M. (2013). Study on genotype × environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding*, 5, 1-13 (In Persian).

Purchase, J. L., Hatting, H. & Van Deventer, C. S. (2000). Genotype × environment interaction of winter wheat in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South Africa, *Journal of Plant and Soil*, 17(3), 101-107.

Rajaram, S. & Van Ginkel, M. (2001). Mexico, 50 years of international wheat breeding. (Chapter 22). In: Bonjean, A. P., Angus, W. J. (eds) The World Wheat Book, A History of Wheat Breeding, 579–608. Lavoisier Publishing, Paris.

Rodriguez, M., Rau, D. & R. Papa. (2007). Genotype by environment interactions in barley **(***Hordeum vulgare* L.): different responses of landraces, recombinant inbred lines and varieties to Mediterranean environment. *Euphytica*, 163(2), 231-247.

Roustaei, M., Sadeghzadeh Ahari, A., Hesami, A., Soleymani, K., Pashapour, H., Nader Mahmoudi, K., poursiahbidi, M., Masood Ahmadi, M. M. & Hassanpour Hassani, M. (2003). A study of adaptability and stability of grain yield in bread wheat genotypes in cold and semi cold dryland areas. *Seed and Plant*, 19, 263-280 (In Persian).

Sadiyah, H. & Hadi, A. F. (2016). AMMI model for yield estimation in multienvironment trials: A comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 163-169.

Samonte, S. O. P., Wilson, L. T., McClung, A. M. & Medley, J. C. (2005). Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE bi-plot analyses. *Crop Science*, 45, 2414-2424.

Scapim, C. A., Oliveira, V. R., Braccini, A. L., Cruz, C. D., Andrade, C. A. B. & Vidigal. C. G. M. (2000). Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. *Genetics and Molecular Biology*, 23(2), 387-393.

Sharifi, P. (2020). Application of multivariate analysis methods in agricultural sciences. Rasht Branch, Islamic Azad University press, Rasht, Iran, 308 pp.

Shiri, M. R. & Bahrampour, T. (2015). Genotype × environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research*, 5, 83-94 (In Persian).

Siddique, M. R. B., Hamid, A. & Islam, M. S. (2000). Drought sterss effects on water relation of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41, 35-39.

Thomason, W. E., & Phillips, S. B. (2006). Methods to evaluate wheat cultivar testing environments and improve cultivar selection protocols. *Field Crops Research*, 99, 87-95.

Voltas, J., Lopez-Corcoles, H. & Borras, G. (2005). Use of bi-plot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multienvironment trials. *European Journal of Agronomy*, 22, 309-324.

Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S. & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47, 643-655.

Yan, W. & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications, *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 623-645.

Yan, W. & Kang, M. S. (2003). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. Pp: 286. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Yan, W. & Rajcan, I. (2002). Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Corp Science*, 42, 11-20.

Yan, W., Cornelius, P. L., Crossa, J. & Hunt, L. A. (2001). Two types of GGE biplots for analyzing multi environment trial data. *Crop Science*, 41, 656-663

Yan, W., Hunt, L. A., Sheny, Q. & Szlavnics, Z. (2000). Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 40, 597- 605.

Zali, H., Sabaghpour, S. H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R. & Hashembeygi, A. (2009). Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter and it's comparison with other methods. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 40(2), 21-29 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.61186/jcb.15.48.78]