

Yield Stability Analysis of Promising Bread Wheat Genotypes under Saline Conditions Using AMMI and GGE-Biplot analysis

Ashkboos Amini^{1*}, Ali Akbar Asadi², Seyyed Mohammad Taghi Tabatabai³, Zabihullah Rawari⁴, Davood Amin Azram⁵, Elias Arazamjo⁶, Omid Podineh⁷

Received: 21 November 2023 Accepted: 24 January 2024

1-Assoc. Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

2-Assist. Prof., Zanzan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanzan, Iran.

3-Assist. Prof., Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran.

4- Assist. Prof., Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran.

5- Assist. Prof., Esfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Esfahan, Iran.

6- Assist. Prof., South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Birjand, Iran.

7-Researcher, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran.

*Corresponding Author Email: amini_ashk@ yahoo.com

Abstract

Background & Objectives: This study was carried out in order to investigate the interaction effect of genotype × environment and to identify the stable genotypes of wheat in the saline areas of the country.

Materials and Methods: 18 selected genotypes from wheat yield comparison experiments along with two control varieties, Narin and Barzegar, in five regions including Birjand, Kerman, Yazd, Zabol and Isfahan on a randomized complete block design with 3 replications and during two years crop (2019-2021) was evaluated. For grain yield, combined analyses of variance were performed and stability analysis was performed using AMMI multivariate method and GGE biplot analysis in order to identify genotypes that have high yield potential, high yield stability and general compatibility.

Results: Based on the first and second main components of AMMI stability analysis, G19, G5 and to some extent G10 genotypes with the least amount of interaction were recognized as stable genotypes. Based on GGE biplot analysis, G18 and G10 genotypes were among the superior genotypes in terms of yield and yield stability. Also, G18 and G3 genotypes were located at a short distance from the ideal genotype, respectively. This analysis divided the environments into three environmental groups and the genotypes into five genotypic groups. Yazd 1 and 2, Kerman 1 and 2, Birjand 2 and Zabol 2 were in the first group, Isfahan 1 and 2 and Birjand 1 were in the second group and Zabol 1 were in the third group. In the first group, G3, G18, G8, G9, and G10, in the second group, G1 and G2, and in the third group, G16, G17, and G7 genotypes had the highest yield. Therefore, it is possible to introduce G3, G8 and G18 genotypes in Yazd and Kerman regions and G1 and G2 genotypes in Isfahan region as genotypes with private adaptation.

Conclusion: Considering grain yield and yield stability, G18 (Elvira/Milan//Arg) and G3 (DH-209-1557 F3, Vee"s"/Nac//1-66-22/3/Dove"s"/Buc"s"//2*Darab) with a yield of 4.89 and 5.3 tons per hectare respectively, were selected as superior genotypes that can be introduced as new cultivars for regions with saline conditions in the country.

Keywords: AMMI, Genotype×Environment Interaction Effect, Salinity, Yield Stability

تجزیه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان در شرایط شور با استفاده از تجزیه AMMI و GGE-Biplot

اشکبوس امینی*^۱، علی اکبر اسدی^۲، سیدمحمدتقی طباطبایی^۳، ذبیح الله راوری^۴، داود امین آزر^۵، الیاس آرزمجو^۶، امید پودینه^۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۴

- ۱-دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
 - 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 یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
 - ۴-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
 - ۵-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
 - ۶-استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران
 - ۷-محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
- *مسئول مکاتبه: Email: amini_ashk@yahoo.com

چکیده

اهداف: این بررسی به منظور مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار گندم نان در مناطق شور کشور اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: ۱۸ ژنوتیپ امید بخش گندم نان به همراه دو رقم شاهد متحمل به شوری نارین و برزگر در پنج منطقه شامل بیرجند، کرمان، یزد، زابل و اصفهان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و طی دو سال زراعی ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ تحت شرایط تنش شوری مورد ارزیابی قرار گرفت. برای عملکرد دانه، داده‌ها مورد تجزیه واریانس مرکب قرار گرفت. همچنین برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در کنار پتانسیل عملکرد دانه بالا از پایداری عملکرد و سازگاری عمومی بالایی برخوردار باشند، تجزیه پایداری با استفاده از روش آماری چند متغیره AMMI و تجزیه گرافیکی GGE biplot انجام گردید.

یافته‌ها: براساس دو مولفه اصلی اول و دوم تجزیه پایداری مدل AMMI، ژنوتیپ‌های G5، G19 و تا حدودی G10 با کمترین مقدار اثر متقابل به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند. بر اساس تجزیه GGE biplot ژنوتیپ‌های G18 و G10 جزو ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری عملکرد بودند. همچنین ژنوتیپ‌های G18 و G3 به ترتیب در فاصله اندکی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل قرار داشتند. این تجزیه محیط‌ها را به سه گروه محیطی و ژنوتیپ‌ها را به پنج گروه ژنوتیپی تقسیم کرد. Yaz1، Yaz2، Ker1، Ker2، Bir2 و Zab2 در گروه اول، Esf1، Esf2 و Bir1 در گروه دوم و Zab1 در گروه سوم قرار داشتند. در گروه اول به ترتیب ژنوتیپ‌های G3، G18، G8، G9 و G10، در گروه دوم ژنوتیپ‌های G1 و G2 و در گروه سوم

ژنوتیپ‌های G16, G17 و G7 دارای بیشترین عملکرد بودند. بنابراین می‌توان در مناطق یزد و کرمان ژنوتیپ‌های G3, G8 و G18 و در منطقه اصفهان ژنوتیپ‌های G1 و G2 را به عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی معرفی کرد.

نتیجه گیری: با در نظر گرفتن عملکرد دانه و پایداری عملکرد، ژنوتیپ‌های G3 (DH-209-1557 و G18 (Elvira/Milan//Arg) به ترتیب با عملکرد ۴/۸۹ و ۵/۳ تن در هکتار، بعنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند که می‌توانند بعنوان رقم جدید برای مناطق با شرایط شور کشور معرفی شوند.

واژه های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، امی، پایداری عملکرد، شوری

مقدمه

گندم به‌عنوان محصول محوری و کلیدی کشاورزی جایگاه ویژه‌ای در تولید و مصرف مواد غذایی ملل جهان دارد. بیش از نیمی از جمعیت جهان از گندم تغذیه می‌کنند (وانگ و همکاران ۲۰۱۶). این گیاه مهمترین محصول استراتژیک در جهان محسوب می‌شود که بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت این محصول ۱۶ درصد یعنی در حدود ۲۱۸ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت جهان و تولید آن حدود ۶۰۰ میلیون تن بوده است. ۵۰ درصد از اراضی زیر کشت گندم به کشورهای در حال توسعه اختصاص دارد. در ایران بالغ بر ۳۰ درصد از اراضی قابل کشت (۶ تا ۶/۴ میلیون هکتار) به کشت گندم اختصاص دارد که تقریباً ۳۵ درصد آن به گندم آبی و حدود ۶۵ درصد به کشت گندم دیم مربوط می‌گردد (فائو ۲۰۱۴).

در بین تنش‌های غیرزنده، شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد است و به‌طور چشمگیری، منجر به کاهش تولیدات گیاهان زراعی مختلف می‌شود (احمدی و همکاران ۲۰۱۸). بخش زیادی از اراضی کل دنیا، تحت تاثیر شوری قرار دارد و هر ساله نزدیک به ۱۰ میلیون هکتار به آن افزوده می‌شود، از این‌رو، به نظر می‌رسد که تا سال ۲۰۵۰، نیمی از اراضی دنیا با تهدید شوری خاک مواجه شوند (ناچشون ۲۰۱۸). طبق گزارشات موجود، بیش از ۹۰ درصد ایران جزو اقلیم خشک طبقه‌بندی شده است و با توجه به بارندگی کم و تبخیر زیاد در سطح وسیعی از کشور، پدیده شوری خاک بسیار گسترده و جدی می‌باشد (خورسندی و هاشمی نژاد ۲۰۱۹).

برآوردها نشان می‌دهد ۲۵/۵ میلیون هکتار از خاک‌های ایران دارای درجه شوری کم تا متوسط و بیش از ۸/۵ میلیون هکتار دارای درجه شوری زیاد می‌باشند (قریشی و همکاران ۲۰۰۷). بر اساس گزارش دیگری ۵۰ درصد از اراضی تحت آبیاری در ایران شور است (کامکار و همکاران ۲۰۰۴). افزایش جمعیت و کمبود تولیدات کشاورزی و ضرورت استفاده از اراضی و آب‌های لب‌شور ایجاب می‌کند که با استفاده از منابع ژنتیکی گندم جهت ایجاد ارقام نسبتاً متحمل به شوری همراه با استفاده از سایر روش‌ها مانند زهکشی، آب‌های شیرین، اصلاح بیولوژیکی اراضی، ماشین‌آلات مناسب کشت، روش‌های سنتی زراعت در اراضی شور، روش‌های به زراعی مناسب و... تولید در شرایط تنش شوری را ممکن ساخت. لذا در این راستا ضرورت دارد تا همواره ارقام پایدار در تولید عملکرد تحت شرایط تنش شوری برای کشت و تولید بهتر و بیشتر در دسترس قرار گیرند (امینی و همکاران ۲۰۲۱).

ارقامی که بتوانند در مناطق مختلف دارای تنش‌های محیطی (شوری و خشکی)، عملکرد بالاتری تولید کنند و همچنین پایداری عملکرد خود را در طی سال‌های مختلف و در مناطق گوناگون حفظ کنند جزء ارقام موفق خواهند بود و این‌گونه تجزیه‌ها در برنامه‌های اصلاحی متداول است (بکر و لئون ۱۹۸۸).

یکی از جنبه‌های مهم مورد بررسی برای لاین‌های پیشرفته و امیدبخش، علاوه بر عملکرد و سایر خصوصیات همانند مقاومت به آفات و بیماری‌ها، پایداری صفات مورد بررسی به‌ویژه پایداری عملکرد

دانه در محیط‌های مورد پژوهش می‌باشد. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، ناشی از تغییر در میزان اختلاف بین ژنوتیپ‌ها در محیط‌های متفاوت و یا تغییر در رتبه‌بندی نسبی ژنوتیپ‌ها ناشی می‌شود. عملکردهای ثابت در مکان‌های مختلف یا سال‌های مختلف به‌عنوان پایداری ذکر می‌گردد. نتایج حاصل از آزمایش‌های به‌نژادی در صورت عدم بررسی و شناخت اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط اعتبار چندانی ندارند، زیرا عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت است. وجود اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط نشان‌دهنده این است که بهترین ژنوتیپ در یک محیط ممکن است در محیط‌های دیگر بهترین ژنوتیپ نباشد (پرکینز و جینکز ۱۹۷۱). اثر متقابل ژنوتیپ در محیط در مورد عملکرد دانه موجب شده است که نتوان یک رقم اصلاحی پر محصول را برای مناطق مختلف توصیه کرد؛ بنابراین بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، قبل از معرفی ارقام جدید پر محصول با پایداری و سازگاری بالا، ضروری است (امینی و همکاران ۲۰۲۱). پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف، دلیل عکس‌العمل متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌باشد (فن و همکاران ۲۰۰۱). تاکنون محققین مختلف روش‌های مختلفی را برای بررسی پایداری عملکرد استفاده کرده‌اند ولی بررسی پایداری در شرایط تنش شوری به‌ندرت انجام پذیرفته است. با توجه به گستردگی و پراکندگی مناطق واقع در اقلیم شور کشور، شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و پایدار در این مناطق از اهمیت خاصی برخوردار هستند.

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 مورد استفاده قرار گیرد (القدر و همکاران ۲۰۱۷؛ محمدی و امیری ۲۰۱۳؛ اسماعیل زاده و مقدم ۲۰۱۱). در این روش مؤلفه‌های افزایشی برای اثرهای اصلی (ژنوتیپ و محیط) و مؤلفه‌های ضرب‌پذیر برای اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط ترکیب می‌شوند (سادیا و هادی ۲۰۱۶).

مؤلفه‌های AMMI معیار معتبری برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها و ارتباط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها می‌باشند. اگر چندین مؤلفه از مؤلفه‌های اثر متقابل در مدل امی از لحاظ آماری معنی‌دار باشند، نشان‌دهنده وجود اثر متقابل پیچیده ژنوتیپ \times محیط می‌باشد (گوچ و زوبل ۱۹۹۶). واعظی و همکاران (۲۰۱۷) از تجزیه AMMI برای بررسی پایداری عملکرد ۱۸ لاین امیدبخش جو به همراه دو شاهد که در پنج منطقه مختلف برای مدت سه سال زراعی مورد بررسی قرار گرفته بودند استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و ۴ مؤلفه اصلی بود. براساس پارامترهای پایداری AMMI، دو ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار معرفی کردند. این روش برای تعیین پایداری، سازگاری و بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در بسیاری از محصولات زراعی مانند گندم نان (گوپتا و همکاران ۲۰۲۳؛ آبیاری و همکاران ۲۰۲۲؛ احيایی و همکاران ۲۰۲۲؛ عمرانی و همکاران ۲۰۲۲؛ رام و همکاران ۲۰۲۰؛ جبرسون و همکاران ۲۰۱۷؛ امینی و همکاران ۲۰۲۳)، گندم دوروم (السیاده و همکاران ۲۰۲۳؛ گاتام و همکاران ۲۰۲۳؛ نجفی میرک و همکاران ۲۰۲۱) و جو (آهک پز و همکاران ۲۰۲۲؛ مرتضویان و همکاران ۲۰۱۴؛ قزوینی و همکاران ۲۰۱۸) مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به این‌که محیط خود مجموعه‌ای از عوامل متغیر است، بعضی از دانشمندان اعتقاد دارند که این روش می‌تواند برای تفسیر علت ناپایداری‌ها و تنوعات مورد استفاده واقع شود و از نتایج حاصله می‌توان در بهبود برنامه‌های به‌نژادی از نظر تنوع ارقام و سازگاری استفاده کرد (آنیچاریکو و همکاران ۲۰۱۰؛ حسن پناه ۲۰۱۱؛ آدونگا ۲۰۱۰).

مدل (Genotype+Genotype \times Environment)

(Interactions; GGE) یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر برای ارزیابی بصری و تجزیه گرافیکی داده‌های آزمایش‌های چند منطقه‌ای از طریق ایجاد یک بای پلات ابداع شده است (یان و تینکر ۲۰۰۶). این مدل بر مبنای رسم دو مؤلفه اصلی اول (PC1 و PC2) حاصل از تجزیه مقادیر منفرد داده‌ها با مرکزیت محیط استوار است. مدل GGE-biplot، به‌طور هم‌زمان عملکرد و

قرار گرفتند. شوری آب آبیاری و خاک مناطق اجرای آزمایشات به ترتیب ۸ تا ۱۲ و ۱۰ تا ۱۴ دسی‌زیمنس بر مترمربع بود. تاریخ کاشت در اقلیم معتدل و گرم کشور آبان‌ماه (از دهه اول آبان تا نیمه اول آذر) می‌باشد. ابعاد کرت‌ها در تمام مناطق به طول سه متر و عرض ۱۲۰ سانتی‌متر بود لذا مساحت کاشت ۳/۶ مترمربع و مساحت برداشت سه مترمربع بود. تعداد خطوط کاشت ۶ و فاصله ردیف‌های کاشت ۱۵ سانتی‌متر بود. میزان کود مصرفی مطابق فرمول کودی مناطق بوده و میزان بذور هر رقم بر اساس ۴۵۰ دانه در مترمربع منظور گردید. جهت کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ به ترتیب از پوماسوپر (۸/۰ تا ۱ لیتر در هکتار) و گرانستار (۱۵ تا ۲۰ گرم در هکتار) استفاده شد. بقیه عملیات‌های زراعی در ایستگاه‌های مختلف تا حدود زیادی یکسان انجام شد.

پس از تعیین عملکرد دانه هر ژنوتیپ، تجزیه واریانس ساده در هر سال و هر مکان انجام شد. 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 عامل سال و مکان و ثابت بودن اثر ژنوتیپ 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 واریانس AMMI مقادیر مؤلفه‌های اصلی برای هر ژنوتیپ و محیط استخراج و با ترسیم بای‌پلات‌های مربوطه، سازگاری عمومی و خصوصی ژنوتیپ‌ها تعیین شد (رودریگز و همکاران ۲۰۰۷). جهت محاسبه آماره پایداری AMMI، ASV: AMMI (Stability Value) از فرمول زیر استفاده شد (پورچیس و همکاران ۲۰۰۰):

پایداری ژنوتیپ‌ها را ارزیابی کرده، محیط‌های مطلوب برای ژنوتیپ‌های خاص را تعیین نموده و محیط‌ها را به یک یا چند ناحیه بزرگ (Mega-Environments) دسته‌بندی می‌کند. یک محیط بزرگ به گروهی از محیط‌ها گفته می‌شود که یک یا چند ژنوتیپ در آن محیط بهترین عملکرد یا بالاترین واکنش محیطی را داشته باشد (یان و تینکر ۲۰۰۶). این روش از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به اصلاحگر کمک می‌کند تا به‌سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی کرده و همچنین استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به‌سادگی میسر می‌سازد (محمدی و همکاران ۲۰۱۰). از روش GGE بای‌پلات، در تجزیه پایداری غلات مثل گندم دوروم (مویدی و همکاران ۲۰۲۰؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۴)، گندم نان (مهدوی و همکاران ۲۰۲۲؛ یان و همکاران ۲۰۱۵b؛ یان و هانت ۲۰۰۲a؛ عمرانی و همکاران ۲۰۱۷) و جو (دهقانی و همکاران ۲۰۰۶) استفاده شده 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 بای‌پلات در شرایط با آب و خاک شور بود.

مواد و روش‌ها

در این بررسی تعداد ۱۸ لاین گندم پیشرفته متحمل به شوری به همراه دو رقم نارین و برزگر به‌عنوان شاهد (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار در پنج ایستگاه تحقیقاتی مناطق شور معتدل و گرم (بیرجند، یزد، زابل، اصفهان و کرمان) به مدت دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) مورد بررسی

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

به وسیله k امین IPC است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAAS به عنوان ژنوتیپ پایدار در نظر گرفته شد (الیوتو ۲۰۱۹). علاوه بر دو شاخص بالا، شاخص گزینش همزمان (SSI=Simultaneous Selection Index) نیز برای هر یک از این دو شاخص محاسبه شد که حاصل جمع رتبه ژنوتیپها بر پایه هر یک از شاخصهای پایداری AMMI و رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپها در تمام محیطها است (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). تجزیه واریانس مرکب با استفاده از نرم افزار SAS و تجزیههای آماری AMMI و GGE-biplot با استفاده از بسته تجزیه آزمایشهای چند محیطی با نام Multi Metan (environment trail analysis) در نرم افزار R انجام شد (الیوتو ۲۰۱۹).

در این فرمول ASV عبارت است از ارزش پایداری AMMI، SSIPCA1 مجموع مربعات مؤلفه اصلی اول و SSIPCA2 مجموع مربعات مؤلفه اصلی دوم می باشد. آماره ASV به دلیل اینکه آثار دو مؤلفه اول اثر متقابل را به طور همزمان مورد بررسی قرار می دهد نقش مهمی در تفسیر نتایج تجزیه AMMI دارد. ژنوتیپ و محیطهای با مقادیر کم پارامتر ASV پایدار و با مقادیر بیشتر ناپایدار خواهند بود (پورچیس و همکاران ۲۰۰۰). همچنین شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق (WAASi=Weighted Average of Absolute Scores) نیز با استفاده از رابطه زیر برآورد شد (الیوتو ۲۰۱۹).

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

در این رابطه، $IPCA_{ik}$ ، نمره ژنوتیپ i در k امین محور مؤلفه اصلی اثر متقابل (IPC) و EP_k واریانس توجیه شده

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپهای گندم مورد بررسی در مناطق مختلف اقلیم سرد کشور

| Genotype No. | Pedigree |
|--------------|---|
| G1 | Barzgar (Check1) |
| G2 | Narin (Check2) |
| G3 | DH-209-1557 F3, Vee"s"/Nac//1-66-22/3/Dove"s"/Buc"s"//2*Darab |
| G4 | Sakha 8/Darab#2//1-66-22/5/Seri*3//RL6010/4*YR/3/Pastor/4/Bav92/6/1-72-92/ColNo.3617//Marvdasht |
| G5 | EVWYT2/Azd//Rsh*2/10120/3/1-66-75//Rsh*2/10120/4/Parsi |
| G6 | PJN/BOW//OPATA*2/3/CROC_1/AE.SQUARROSA (224)//OPATA/4/Parsi |
| G7 | Kayson/Glennson//Attila/3/Yaco/2*Parus/4/Parsi |
| G8 | Kayson/Glennson//Attila/3/Yaco/2*Parus/4/Parsi |
| G9 | Seri 82//Shuha"S"/4/Rbs/Anza/3/Kvz/Hys//Ymg/Tob/5/Sivand/6/Parsi |
| G10 | Mv22-77//Stephon/3/Mon"s"/Lmu"s"//Falke/4/Zarin/5/Parsi/6/C-84-8 |
| G11 | PASTOR/3/VORONA/CNO79//KAUZ/4/Parsi/5/Inia/90zhong87//Sivand |
| G12 | SITE/MO/4/NAC/TH.AC//3*PVN/3/MIRLO/BUC/5/Omid/4/Bb/Kal//Ald/3/Y50E/3*Kal//Emu/6/Niknejad |
| G13 | M-84-3//Kauz"S"/Azd/4/OASIS/SKAUZ//4*BCN*2/3/PASTOR |
| G14 | Cham/PTZ Niska/VT 1556-170 WRB856/3/Yaco/2*Parus/4/Parsi |
| G15 | Cham/PTZ Niska/VT 1556-170 WRB856/3/Yaco/2*Parus/4/Parsi |
| G16 | BABAX/LR42//BABAX/3/Parsi |
| G17 | Hereward/Siren/5/Gov/Az//Mus/3/DoDo/4/Bow/6/Parsi/7/Pishtaz |
| G18 | Elvira/Milan//Arg |
| G19 | Gk zombor/Attila//Yaco/2*Parus/3/Alvd/Bcn//Atrak |
| G20 | Irena/Babax//Pastor/4/PASTOR/3/KAUZ*2/OPATA//KAUZ/5/Vee7/Kauz |

نتایج و بحث

یکنواختی واریانس خطا در آزمایشات انجام شده در ایستگاههای مختلف و سالهای انجام آزمایش بود (جدول ۲).

معنی دار شدن آزمون بارتلت با میزان آماره کای اسکوئر برابر با ۹/۵۹ با درجه آزادی ۹، نشان دهنده

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی ایستگاههای محل اجرای آزمایشات

| ایستگاه | سال زراعی | میانگین سالانه (°C) | میانگین حداقل سالانه (°C) | میانگین حداکثر سالانه (°C) | مجموع بارندگی سالانه (mm) |
|---------------------|-----------|---------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| اصفهان (کیوتر آباد) | ۱۳۹۸-۱۳۹۹ | 16.65 | 7.51 | 25.79 | 69.5 |
| | ۱۳۹۹-۱۴۰۰ | 16.33 | 7.76 | 24.91 | 73.70 |
| یزد (اردکان) | ۱۳۹۸-۱۳۹۹ | 21.8 | ۱۵.۸۶ | ۲۷.۷۰ | ۷۹.۰۱ |
| | ۱۳۹۹-۱۴۰۰ | 21.2 | ۱۵.۰۴ | ۲۷.۴۸ | ۶۱.۴۵ |
| زابل | ۱۳۹۸-۱۳۹۹ | 15.78 | 4.72 | 30.77 | 112.3 |
| | ۱۳۹۹-۱۴۰۰ | 17.04 | 1.87 | 32.74 | 21.2 |
| کرمان (جوپار) | ۱۳۹۸-۱۳۹۹ | ۱۵ | ۷,۱ | ۲۱,۶ | 175 |
| | ۱۳۹۹-۱۴۰۰ | ۱۴,۷ | ۷,۳ | ۲۰,۹۹ | 183 |
| بیرجند (محمدیه) | ۱۳۹۸-۱۳۹۹ | ۱۶/۶ | ۸/۲ | ۲۵ | - |
| | ۱۳۹۹-۱۴۰۰ | ۱۶/۳ | ۷/۴ | ۲۵/۳ | ۶۳/۹ |

در محیط (مجموع ژنوتیپ × سال، ژنوتیپ × مکان و ژنوتیپ × سال × مکان) به ترتیب با ۵۳/۳ درصد و ۲۶/۷ درصد بیشترین سهم و ژنوتیپ با ۱۴/۹ 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. پژوهشگران زیادی نیز چنین سهم بالایی را برای محیط گزارش کرده‌اند (قائد رحمتی و همکاران ۲۰۱۷؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۵؛ آقایی سربرزه و همکاران ۲۰۱۲). 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 (فان و همکاران ۲۰۰۷؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۶). تفاوت بین محیط‌ها می‌تواند به دلیل تفاوت‌های اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی طی سال‌ها و مکان‌های انجام آزمایش در طی دوره رشدی گیاه باشد.

در این بررسی نیز با توجه به متفاوت بودن شرایط اقلیمی مکان‌های تحت آزمایش، شرایط آبیاری در این مکان‌ها، متفاوت بودن میزان شوری آب و خاک در مکان‌های مختلف و متفاوت بودن مدیریت‌های زراعی در

به‌منظور بررسی وضعیت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف تجزیه واریانس مرکب بر روی داده‌های حاصل از ۵ مکان (بیرجند، یزد، اصفهان، زابل و کرمان) در دو سال انجام و نتایج نشان داد که اثرات متقابل مکان × سال و ژنوتیپ × مکان × سال در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. این امر دلیل بر وجود اختلاف شرایط محیطی در مناطق و سال‌های مورد آزمایش می‌باشد (جدول ۳).

ژنوتیپ‌های G3، G8، G18 و G2 به ترتیب با داشتن عملکردهای ۴/۳۰۵، ۴/۹۹، ۴/۸۹ و ۴/۸۸ تن در هکتار بیشترین و ژنوتیپ‌های G13، G20 و G14 به ترتیب با داشتن عملکردهای ۳/۸۸، ۳/۸۴ و ۳/۶۴ کمترین مقدار عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌ها دارا بودند. 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 به دلیل تغییرات زیاد ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مورد بررسی می‌باشد. این معنی‌دار شدن نشان می‌دهد که پاسخ ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف یکسان نبوده و در محیط‌های مختلف، ژنوتیپ‌های متفاوتی دارای بیشترین عملکرد بوده‌اند؛ از طرف دیگر اثر اصلی محیط (مجموع سال، مکان و سال × مکان) و اثر متقابل ژنوتیپ

ژنوتیپ‌های سازگار با شرایط منطقه که ضمن داشتن عملکرد دانه بالا، نوسانات عملکرد آن‌ها نیز در سال‌های مختلف کمتر باشد، شناسایی شوند. به این ترتیب، تجزیه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و ارقام شاهد با روش‌های مختلف انجام شد تا ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و پایدار شناسایی شوند؛ بنابراین با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل سه‌طرفه ژنوتیپ × مکان × سال، برای شناسایی لاین و رقم با عملکرد بالا و پایدار از روش‌های AMMI و GGE-Biplot استفاده گردید.

این مکان‌ها می‌توان به تاثیر متفاوت محیط در میزان عملکرد لاین‌ها و ارقام مختلف پی برد. 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 نیز 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

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم تحت شرایط تنش شوری طی دو سال زراعی

| منابع تغییر | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | درصد مجموع مربعات از کل |
|---------------------|---------------------|--------------|----------------|-------------------------|
| Year | سال | 1 | 85.17 | 11.6 |
| place | مکان | 4 | 280.65 | 38.3 |
| Year*place | سال × مکان | 4 | 25.15 | 3.4 |
| Error1 | اشتباه اول | 20 | 4.91 | 0.24 |
| Genotype | ژنوتیپ | 19 | 109.1 | 14.9 |
| Genotype*place | ژنوتیپ × مکان | 76 | 17.99 | 2.4 |
| Genotype*Year | ژنوتیپ × سال | 19 | 110.97 | 14.2 |
| Genotype*place*Year | ژنوتیپ × مکان × سال | 76 | 74.16 | 10.1 |
| Error2 | اشتباه دوم | 380 | 22.66 | 0.059 |
| Total | کل | 599 | 730.78 | |
| CV% | ضریب تغییرات | 5.5 | | |

* ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

تجزیه AMMI

دوم بیشترین مقدار واریانس باقیمانده را بعد از مؤلفه اول توضیح می‌دهد که توسط مؤلفه اول بیان نشده است (شریفی ۲۰۲۰؛ کریم زاده و همکاران ۲۰۲۰). در تطابق با نتایج این تحقیق آقای سربرز و همکاران (۲۰۱۲) و کریم زاده و همکاران (۲۰۲۰) نیز سهم پایین دو مؤلفه اصلی را در توجیه تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را در گندم دوروم گزارش کردند. در مقابل سهم بالای مؤلفه اصلی اول در توجیه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط توسط محققین دیگری گزارش شده است که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت نداشت (نجفی میرک و همکاران ۲۰۱۹، ۲۰۲۰). ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بزرگ (مثبت یا منفی) مؤلفه اصلی اول (IPC1) اثر متقابل بالایی با محیط دارند. در مقابل، ژنوتیپ‌های دارای مقادیر نزدیک به

تجزیه واریانس AMMI (جدول ۴) نشان داد که مؤلفه اصلی اول تا نهم معنی‌دار بودند و در مجموع نزدیک به ۱۰۰٪ از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کردند. اولین و دومین مؤلفه اصلی بیشترین سهم (۵/۵۵٪) را در بیان اثر متقابل ژنوتیپ × محیط داشتند و مؤلفه‌های دیگر در درجات بعدی اهمیت قرار گرفتند. بزرگی درصد توجیه واریانس کل توسط هر یک 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 به گونه‌ای برآورد می‌شود که اولین مؤلفه بیشترین مقدار واریانس مؤلفه‌ها را تبیین کند و مؤلفه

شوند (جدول ۵). از طرف دیگر، محیط‌های Bir2 و Yaz1 دارای کمترین مقدار (نزدیک به صفر) در اولین محور مؤلفه اصلی (IPCA1) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط بودند و نسبت به محیط‌های دیگر پایداری عملکرد بهتری داشتند ولی هر دوی این محیط‌ها نیز میانگین عملکرد کمتری نسبت به میانگین کل داشتند (جدول ۵).

صفر اثر متقابل پایینی دارند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G18، G1، G8، G16، G14، G13 و G15 دارای بیشترین مقادیر IPCA1 بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های G19 و G5 دارای مقادیر مؤلفه اصلی اول (IPCA1) نزدیک به صفر بودند ولی هیچ‌کدام دارای عملکرد بالاتر از میانگین عملکرد کل نبودند و به همین دلیل نمی‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا معرفی

جدول ۴- تجزیه AMMI برای عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم در مناطق شور

| منابع تغییر | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | درصد مجموع مربعات از کل | |
|---------------------------|---------------|--------------|----------------|-------------------------|------|
| Environment | محیط | 9 | 390.96 | 34.4** | |
| Environment × Replication | تکرار در محیط | 20 | 4.91 | 0.24 | |
| Genotype | ژنوتیپ | 19 | 109.1 | 5.74** | |
| Environment × Genotype | ژنوتیپ × محیط | 171 | 203.1 | 1.19** | |
| IPCA 1 | مؤلفه اول | 27 | 67.7 | 2.51** | 33.3 |
| IPCA 2 | مؤلفه دوم | 25 | 45.02 | 1.8** | 22.2 |
| IPCA 3 | مؤلفه سوم | 23 | 37.6 | 1.63** | 18.5 |
| IPCA 4 | مؤلفه چهارم | 21 | 15.77 | 0.75** | 7.8 |
| IPCA 5 | مؤلفه پنجم | 19 | 13.34 | 0.7** | 6.6 |
| IPCA 6 | مؤلفه ششم | 17 | 10.58 | 0.62** | 5.2 |
| IPCA 7 | مؤلفه هفتم | 15 | 6.82 | 0.45** | 3.4 |
| IPCA 8 | مؤلفه هشتم | 13 | 3.71 | 0.28** | 1.8 |
| IPCA 9 | مؤلفه نهم | 11 | 2.54 | 0.23** | 1.3 |
| Residual | باقیمانده | 380 | 22.66 | 0.059 | |
| Total | کل | 770 | 933.9 | 1.21 | |

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

است. با توجه به شکل ۱، محور عمودی که از میانگین کل ژنوتیپ‌ها می‌گذرد ژنوتیپ‌ها را به دو گروه ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر و کمتر از میانگین کل تقسیم می‌کند. محور افقی که از نقطه صفر محور IPCA1 رد شده است نمودار را به دو قسمت تقسیم کرده و ژنوتیپ‌هایی که در قسمت بالای این محور قرار گرفتند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با اثر متقابل مثبت و ژنوتیپ‌هایی که در پایین این محور قرار می‌گیرند به‌عنوان ژنوتیپ‌های با اثر متقابل منفی شناخته می‌شوند. ژنوتیپ‌هایی که نزدیک محور IPCA1 بودند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی که دارای کمترین اثر متقابل

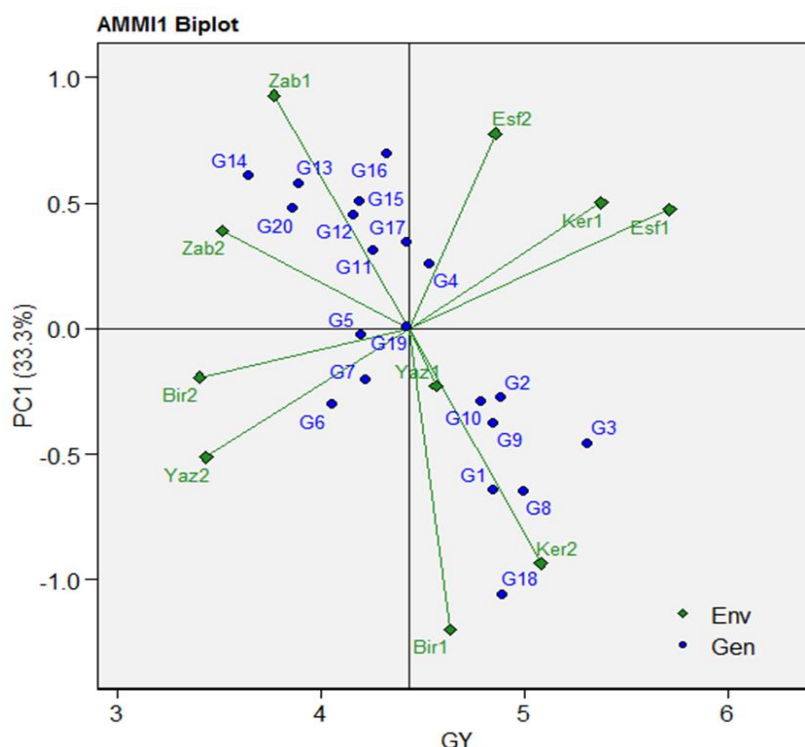
در مدل AMMI اختلافات در پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌ها نسبت به محیط‌های مختلف را می‌توان به شکل مطلوبی با استفاده از Biplot ارزیابی کرد. Biplot رسم شده برای مدل AMMI گرافیکی است که ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها با هم بر روی آن رسم می‌شوند. مزیت این گراف‌ها این است که روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها را قابل مشاهده می‌کنند و بر این اساس می‌توان ژنوتیپ‌های مختلف را برای مناطق خاصی معرفی کرد. مدل AMMI در شکل ۱ نشان داده شده است. در این مدل از IPCA1 استفاده می‌شود. در این مدل محور افقی میانگین عملکرد و محور عمودی IPCA1

ژنوتیپ‌های با بیشترین میزان اثر متقابل منفی شناخته شدند که دارای عملکردی بیشتر از میانگین کل بودند. با توجه به بزرگی میزان اثر متقابل ژنوتیپ و محیط، تنها ژنوتیپ G19 به‌عنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد متوسط برگزیده شد و بر اساس این مدل قابل توصیه به همه مناطق می‌باشد.

بودند معرفی شدند. براین اساس به‌جز ژنوتیپ‌های G19 و G5، بقیه ژنوتیپ‌ها دارای اثر متقابل مثبت و یا منفی زیادی بودند. از این میان، ژنوتیپ‌های G14، G20، G13، G16، G15، G12، G11، G6 و G7 به دلیل پایین بودن میانگین عملکرد و بالا بودن اثر متقابل به‌عنوان ژنوتیپ‌های ناپایدار و با عملکرد پایین معرفی شدند. ژنوتیپ‌هایی که در قسمت پایین و سمت راست نمودار بودند (G18، G8، G3، G1، G9، G10 و G2) به‌عنوان

جدول ۵ - عملکرد، مؤلفه‌های اصلی اول تا نهم برای ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم و مناطق مورد مطالعه

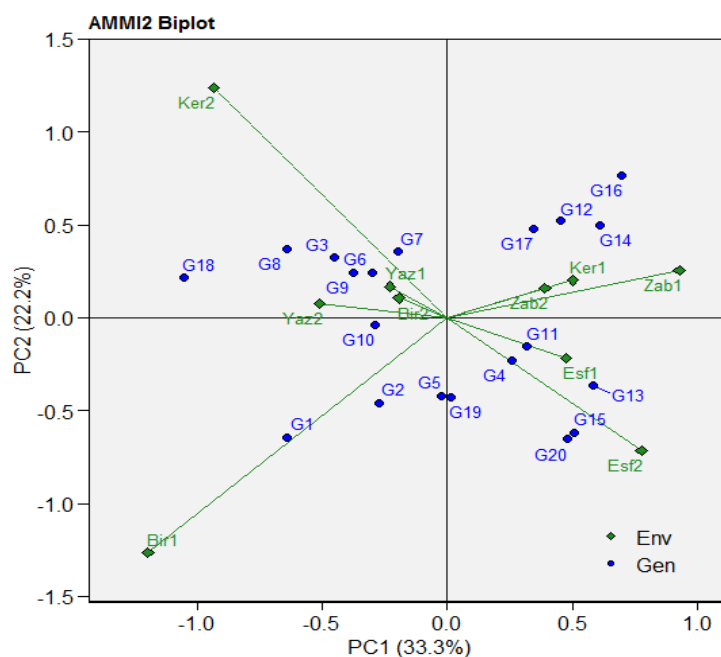
| ژنوتیپ و مکان | عملکرد (t.ha ⁻¹) | IPCA1 | IPCA2 | IPCA3 | IPCA4 | IPCA5 | IPCA6 | IPCA7 | IPCA8 | IPCA9 | |
|---------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|--------|
| | | مولفه اول | مولفه دوم | مولفه سوم | مولفه چهارم | مولفه پنجم | مولفه ششم | مولفه هفتم | مولفه هشتم | مولفه نهم | |
| G1 | 4.845 | -0.642 | -0.644 | -0.333 | 0.072 | 0.228 | 0.466 | 0.104 | 0.183 | 0.002 | |
| G2 | 4.855 | -0.275 | -0.458 | -0.493 | 0.101 | -0.223 | 0.026 | 0.183 | -0.176 | 0.12 | |
| G3 | 5.305 | -0.455 | 0.322 | -0.261 | -0.014 | -0.486 | -0.167 | -0.072 | 0.022 | -0.193 | |
| G4 | 4.533 | 0.259 | -0.229 | -0.24 | -0.074 | -0.114 | -0.288 | -0.131 | 0.594 | -0.018 | |
| G5 | 4.194 | -0.023 | -0.419 | -0.086 | 0.061 | -0.368 | -0.286 | 0.349 | -0.421 | -0.009 | |
| G6 | 4.055 | -0.302 | 0.245 | 0.404 | 0.372 | -0.068 | -0.566 | 0.046 | -0.101 | 0.152 | |
| G7 | 4.221 | -0.199 | 0.355 | -0.166 | 0.459 | 0.749 | -0.496 | -0.299 | -0.197 | 0.116 | |
| G8 | 4.991 | -0.644 | 0.371 | 0.982 | 0.505 | -0.288 | 0.521 | -0.388 | 0.104 | -0.159 | |
| G9 | 4.845 | -0.374 | 0.242 | 0.112 | -0.16 | -0.424 | -0.279 | 0.152 | 0.175 | 0.308 | |
| G10 | 4.789 | -0.288 | -0.038 | -0.253 | -0.657 | -0.144 | -0.024 | -0.47 | 0.069 | -0.332 | |
| G11 | 4.253 | 0.315 | -0.154 | -0.073 | -0.312 | -0.107 | -0.069 | -0.244 | -0.217 | -0.155 | |
| G12 | 4.157 | 0.454 | 0.52 | 0.567 | -0.497 | 0.081 | -0.25 | 0.41 | 0.188 | -0.161 | |
| G13 | 3.887 | 0.581 | -0.366 | -0.499 | 0.529 | -0.132 | -0.01 | -0.345 | 0.009 | 0.032 | |
| G14 | 3.641 | 0.609 | 0.498 | -0.044 | 0.132 | -0.064 | 0.473 | 0.269 | -0.429 | -0.157 | |
| G15 | 4.189 | 0.506 | -0.619 | 0.509 | 0.44 | 0.116 | 0.12 | -0.339 | -0.084 | 0.371 | |
| G16 | 4.325 | 0.699 | 0.766 | -0.234 | -0.199 | 0.02 | 0.259 | -0.214 | -0.021 | 0.233 | |
| G17 | 4.42 | 0.344 | 0.479 | -0.65 | 0.306 | -0.011 | 0.248 | 0.287 | 0.348 | 0.002 | |
| G18 | 4.893 | -1.056 | 0.214 | -0.175 | -0.444 | 0.408 | 0.279 | 0.227 | -0.09 | 0.267 | |
| G19 | 4.423 | 0.011 | -0.428 | 0.223 | 0.071 | 0.714 | -0.116 | 0.186 | 0.102 | -0.48 | |
| G20 | 3.864 | 0.479 | -0.655 | 0.663 | 0.191 | -0.065 | 0.158 | 0.29 | 0.081 | 0.146 | |
| Birjand 1 | بیرجند ۱ | 4.637 | -1.198 | -1.266 | 0.35 | -0.4 | 0.03 | -0.189 | 0.011 | -0.243 | -0.084 |
| Birjand 2 | بیرجند ۲ | 3.405 | -0.194 | 0.105 | -0.301 | -0.458 | -0.765 | 0.746 | -0.199 | 0.412 | -0.132 |
| Isfahan 1 | اصفهان ۱ | 5.712 | 0.474 | -0.217 | 0.108 | -0.01 | -0.116 | -0.25 | 0.99 | 0.377 | 0.133 |
| Isfahan 2 | اصفهان ۲ | 4.856 | 0.776 | -0.717 | 0.494 | 0.647 | -0.452 | -0.043 | -0.545 | 0.177 | 0.373 |
| Kerman 1 | کرمان ۱ | 5.378 | 0.5 | 0.2 | -0.684 | 0.096 | -0.724 | -0.56 | -0.041 | -0.527 | -0.178 |
| Kerman 2 | کرمان ۲ | 5.081 | -0.934 | 0.239 | 0.845 | 0.104 | -0.155 | -0.28 | 0.064 | 0.001 | 0.223 |
| Yazd 1 | یزد ۱ | 4.566 | -0.229 | 0.168 | -1.179 | -0.321 | 0.604 | -0.115 | -0.17 | 0.083 | 0.468 |
| Yazd 2 | یزد ۲ | 3.438 | -0.513 | 0.045 | -0.406 | 0.938 | 0.418 | 0.075 | 0.01 | 0.213 | -0.513 |
| Zabol 1 | زابل ۱ | 3.769 | 0.928 | 0.254 | 0.519 | -0.7 | 0.55 | -0.25 | -0.274 | 0.11 | -0.4 |
| Zabol 2 | زابل ۲ | 3.516 | 0.389 | 0.158 | 0.252 | 0.106 | 0.309 | 0.865 | 0.283 | -0.606 | 0.103 |



شکل ۱ - نمودار Biplot مدل AMMI1 برای ۲۰ ژنوتیپ گندم در ۱۰ محیط

متقابل را دارا بودند. در مدل بای‌پلات AMMI ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات وجود دارند از پایداری عمومی برخوردارند و قابل توصیه برای اکثر محیط‌ها می‌باشند و ژنوتیپ‌هایی که دور از مرکز قرار دارند دارای پایداری خصوصی می‌باشند (کوچ و زوبل ۱۹۹۶)؛ بنابراین با توجه به شکل ۲ ژنوتیپ خاصی دارای پایداری عمومی و در نتیجه قابل توصیه به کلیه مناطق مورد بررسی نبود. در تحقیق شاه‌محمدی و همکاران (۲۰۰۴) نیز اگرچه دو مؤلفه اول سهم ناچیزی از اثر متقابل را به خود اختصاص دادند، ولی از تفسیر بای‌پلات امی برای ژنوتیپ‌های پایدار استفاده نمودند. فتاحی و یوسفی (۲۰۰۶) به منظور بررسی پایداری عملکرد ۱۹ ژنوتیپ جو در هشت ایستگاه منطقه معتدل از مدل AMMI استفاده نمودند و نشان دادند که آماره‌های مستخرج از این مدل در تشخیص ژنوتیپ ایده‌آل از حیث پایداری و سازگاری عملکرد بسیار کارآمد بودند. نتایج حاصل از این تحقیق نیز مشابه آنچه که فتاحی و یوسفی (۲۰۰۶) گزارش کردند، مبین توانایی این روش در تشخیص پایدارترین ژنوتیپ‌های مورد بررسی می‌باشد.

در شکل ۲ از دو محور مؤلفه اصلی (IPCA1 و IPCA2) برای رسم Biplot استفاده شد. در این شکل نیز ژنوتیپ‌هایی که در قسمت بالا و سمت راست نمودار قرار گرفته‌اند نسبت به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 اثر متقابل مثبت دارند و ژنوتیپ‌هایی که در قسمت پایین و سمت چپ نمودار قرار گرفته‌اند نسبت به دو محور ذکر شده اثر متقابل منفی دارند. چون اثر متقابل توجیه شده به وسیله IPCA2 کمتر از IPCA1 است بنابراین ژنوتیپ‌هایی که اثر متقابل مثبت یا منفی بالایی نسبت به محور IPCA1 در مقایسه با محور IPCA2 داشته باشند به عنوان ژنوتیپ‌های با اثر متقابل بالا شناخته خواهند شد. ژنوتیپ‌هایی که نزدیک به مرکز نمودار هستند نسبت به هر دو محور IPCA1 و IPCA2 اثر متقابل کمتری خواهند داشت. با توجه به شکل ۲ ژنوتیپ‌های G19، G5 و تا حدودی G10 با کمترین مقدار اثر متقابل نسبت به دو محور به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند که از بین آنها ژنوتیپ G10 به عنوان ژنوتیپ با سازگاری عمومی خوب و عملکرد بالا تعیین شد. ژنوتیپ‌های G16، G20، G15، G13، G8، G18 و G1 بالاترین مقادیر اثر



شکل ۲ - نمودار Biplot مدل AMMI2 برای ۲۰ ژنوتیپ گندم در ۱۰ محیط

شاخص های پایداری AMMI

از آنجاکه مؤلفه اصلی اول فقط در حدود ۳۳/۳ درصد از تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه کرد از این رو شاخص ارزش پایداری AMMI (ASV)، میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS) و شاخص انتخاب همزمان بر پایه این دو شاخص نیز محاسبه و ژنوتیپ‌های برتر بر اساس این پارامترها شناسایی شدند. شاخص ارزش پایداری AMMI (ASV)، ژنوتیپ‌های G5، پایدارترین ژنوتیپ‌ها معرفی کرد. بر اساس شاخص میانگین وزنی نمرات مطلق (WAAS)، ژنوتیپ‌های G5، G9 و G10، G4، G19، G11 پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۶). پژوهشگران دیگری نیز از شاخص ارزش پایداری AMMI و میانگین وزنی نمرات مطلق به عنوان روش‌های مفید و مؤثری در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کرده‌اند (کریم زاده و همکاران ۲۰۲۰؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۵). چون در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با استفاده از شاخص‌های پایداری،

فقط تأکید بر جنبه پایداری ژنوتیپ‌ها می‌شود، به همین علت ژنوتیپ‌های G5، G19، G11 و G7 با عملکردی کمتر از متوسط عملکرد کل (۴/۴۳ تن در هکتار) و رتبه عملکرد پایین به عنوان ژنوتیپ‌های برتر گزینش شده‌اند. جهت اجتناب از گزینش چنین ژنوتیپ‌هایی، شاخص انتخاب همزمان SSi برآورد شد (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). 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 (فرشادفر و همکاران ۲۰۱۲). بر این اساس به ترتیب ژنوتیپ‌های G10، G19، G3، G4، G2 و G9 بر اساس شاخص SSiASV و ژنوتیپ‌های G2، G16، G13، G1 و G3 بر مبنای شاخص SSiWAAS به عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند (جدول ۶). تفاوت‌ها در ژنوتیپ‌های منتخب می‌تواند ناشی از این باشد که در شاخص ASV تنها از دو مولفه اصلی و در شاخص WAAS از تمامی مولفه‌های اصلی تجزیه AMMI جهت محاسبه شاخص استفاده شده است.

جدول ۶- شاخص‌های پایداری، رتبه ژنوتیپ‌ها و شاخص انتخاب هم‌زمان برای ژنوتیپ‌های گندم

| Genotype | Yield | rY | ASV | rASV | SSi ASV | WAAS | rWAAS | SSi WAAS |
|----------|-------|----|-------|------|---------|-------|-------|----------|
| G1 | 4.845 | 5 | 1.16 | 18 | 23 | 0.319 | 3 | 14 |
| G2 | 4.855 | 4 | 0.617 | 9 | 13 | 0.318 | 6 | 10 |
| G3 | 5.305 | 1 | 0.756 | 11 | 12 | 0.225 | 2 | 14 |
| G4 | 4.533 | 8 | 0.452 | 4 | 12 | 0.181 | 17 | 18 |
| G5 | 4.194 | 14 | 0.421 | 1 | 15 | 0.298 | 14 | 22 |
| G6 | 4.055 | 17 | 0.515 | 7 | 24 | 0.293 | 1 | 16 |
| G7 | 4.221 | 13 | 0.465 | 5 | 18 | 0.581 | 11 | 16 |
| G8 | 4.991 | 2 | 1.04 | 16 | 18 | 0.266 | 12 | 30 |
| G9 | 4.845 | 6 | 0.612 | 8 | 14 | 0.235 | 16 | 32 |
| G10 | 4.789 | 7 | 0.435 | 3 | 10 | 0.202 | 9 | 26 |
| G11 | 4.253 | 12 | 0.499 | 6 | 18 | 0.448 | 18 | 27 |
| G12 | 4.157 | 16 | 0.858 | 12 | 28 | 0.429 | 15 | 21 |
| G13 | 3.887 | 18 | 0.947 | 13 | 31 | 0.379 | 7 | 14 |
| G14 | 3.641 | 20 | 1.04 | 17 | 37 | 0.466 | 5 | 19 |
| G15 | 4.189 | 15 | 0.981 | 15 | 30 | 0.499 | 19 | 39 |
| G16 | 4.325 | 11 | 1.3 | 19 | 30 | 0.394 | 10 | 12 |
| G17 | 4.42 | 10 | 0.705 | 10 | 20 | 0.52 | 20 | 23 |
| G18 | 4.893 | 3 | 1.6 | 20 | 23 | 0.213 | 4 | 17 |
| G19 | 4.423 | 9 | 0.429 | 2 | 11 | 0.468 | 13 | 23 |
| G20 | 3.864 | 19 | 0.973 | 14 | 33 | 0.319 | 8 | 27 |

rY: رتبه عملکرد، ASV: شاخص ارزش پایداری AMMI، rASV: رتبه شاخص ارزش پایداری AMMI، SSiASV: شاخص انتخاب هم‌زمان بر مبنای شاخص ارزش پایداری AMMI، WAAS: میانگین وزنی نمرات مطلق، rWAAS: رتبه میانگین وزنی نمرات مطلق، SSiWAAS: شاخص انتخاب هم‌زمان بر مبنای میانگین وزنی نمرات مطلق

مدل GGE-Biplot

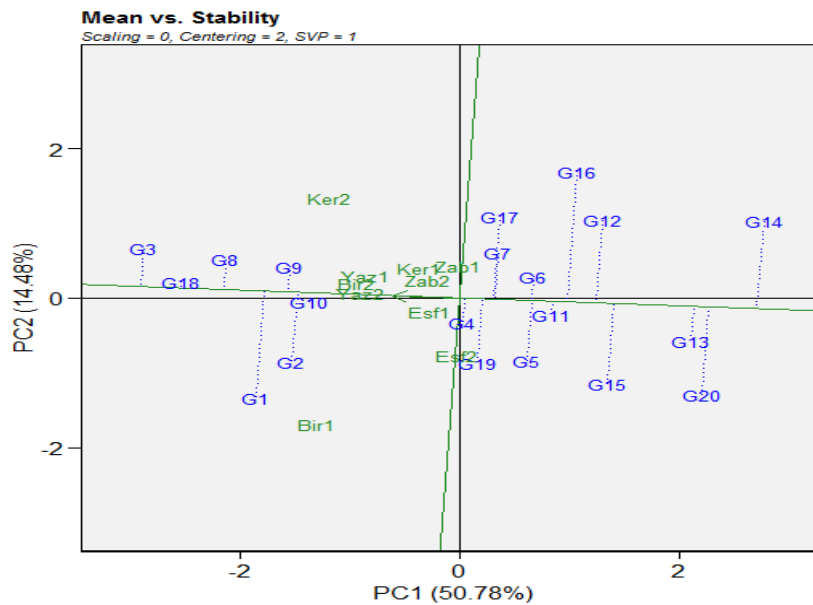
عملکرد بیشتر از میانگین و با پایداری عملکرد اندک، که بهترین پاسخ را به محیط‌های خاصی داشته و دارای سازگاری خصوصی هستند، کمک نماید. ژنوتیپ‌های G1 و G2 با عملکرد بالا سازگاری خصوصی به محیط‌های متفاوت را نشان دادند. بطوریکه ژنوتیپ G1 سازگاری بیشتری به محیط‌هایی همچون بیرجند که در قسمت پایین محور میانگین عملکرد قرار دارند نشان داد. بنابراین از سازگاری خصوصی بیشتری به این محیط برخوردار بود.

یک ژنوتیپ ایده‌آل باید بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه را داشته باشد و نسبت به شرایط محیطی نیز از پایداری عملکرد برخوردار باشد (یان ۲۰۰۲). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای کمترین نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باشد، تعریف شده است به‌طوری‌که در شکل ۴ به‌صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به آن اشاره شده است. برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم‌مرکزی در بای‌پلات به‌منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ترسیم شده است (شکل ۴). ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها قرار دارد

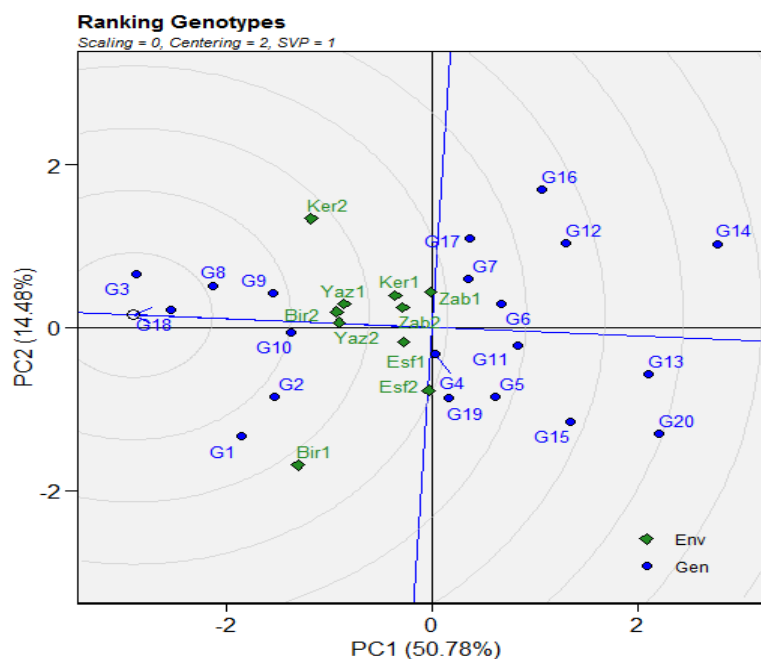
شکل ۳ رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در محیط‌های تحت بررسی نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ خط عمودی (خط عمودی سبزرنگ) واقع شده‌اند دارای عملکرد بیشتر از میانگین و ژنوتیپ‌هایی که سمت راست خط پیکان عمودی قرار گرفته‌اند دارای عملکردی کمتر از میانگین هستند. براین اساس ژنوتیپ‌های G3، G18، G8، G1، G9، G2 و G10 بیشترین عملکرد را نشان دادند. همچنین ژنوتیپ‌های G18، G10 و G11 بیشترین پایداری عملکرد را در بین ژنوتیپ‌های دیگر نشان دادند (هرچه فاصله ژنوتیپ از خط افقی سبزرنگ کمتر باشد ژنوتیپ پایداری عملکرد بالاتری دارد)؛ بنابراین ژنوتیپ‌های G18 و G10 جزو ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری عملکرد بالا بودند. البته تا حدودی ژنوتیپ‌های G3 و G8 را نیز می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا در نظر گرفت. ژنوتیپ‌های G16، G12، G17، G14، G15 و G20 با بیشترین فاصله تا خط ATC یعنی خط پیکان افقی از عملکرد پایین و نیز پایداری عملکرد پایین برخوردار بودند. از سوی دیگر ژنوتیپ‌های G6 و G11 دارای عملکرد پایین ولی پایداری عملکرد بالا بودند. این اطلاعات می‌تواند توسط به‌نژادگران برای انتخاب ژنوتیپ‌های با

به ژنوتیپ ایده‌آل واقع شدند. پس از این دو ژنوتیپ، ژنوتیپ‌های G8 و G9 قرار داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های G14, G13, G15, G12 و G16 با بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب شناخته شدند (شکل ۴).

ژنوتیپی با میانگین عملکرد بالا و دارای پایداری عملکرد بالاست. بنابراین ژنوتیپ خاصی را نمی‌توان به‌عنوان ژنوتیپی مطلوب که دارای میانگین عملکرد بالا و نیز پایداری عملکرد بالایی هست، در نظر گرفت. ولی ژنوتیپ‌های G3 و G18 به ترتیب در فاصله اندکی نسبت



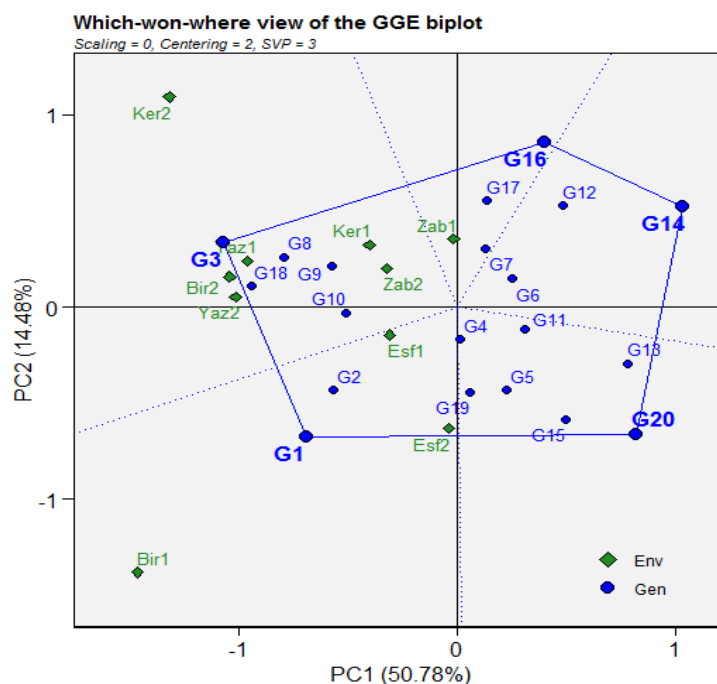
شکل ۳- نمودار ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مورد بررسی به‌طور هم‌زمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد



شکل ۴- نمودار GGE biplot جهت ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل

و G2 و در گروه سوم ژنوتیپ‌های G16، G17 و G7 دارای بیشترین عملکرد بودند. بنابراین می‌توان در مناطق یزد و کرمان ژنوتیپ‌های G3، G8 و G18 و در منطقه اصفهان ژنوتیپ‌های G1 و G2 را به عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی جهت کشت در مناطق شور معرفی کرد. این نتایج نشان داد که مناطقی مانند کرمان، یزد و بیرجند امکان گروه‌بندی با همدیگر را داشته و در گزینش ژنوتیپ‌ها، مشابه همدیگر عمل می‌کنند. همچنین در این مناطق تفاوت چندانی بین سال‌های مورد بررسی نیز مشاهده نشد. در بخش‌هایی که علارغم وجود ژنوتیپ‌ها هیچ محیطی وجود نداشت نشان می‌دهد که این ژنوتیپ‌ها در هیچ کدام از محیط‌ها برتر نبودند. ژنوتیپ‌هایی مانند ژنوتیپ G4 که تا حدودی نسبت به بقیه نزدیک مرکز بای‌پلات واقع شد از عملکرد متوسطی در تمام محیط‌ها برخوردار بود.

یکی از جنبه‌های GGE biplot نمایش چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط است (شکل ۵) که بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به منظور تفسیر مؤثر بای‌پلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی بزرگ (محیط‌های کلان) در یک منطقه که در آن گروهی از ژنوتیپ‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند است (یان و همکاران ۲۰۰۰، یان و کانگ ۲۰۰۳؛ گوچ و زوبل ۱۹۹۶). بر اساس چندضلعی بای‌پلات، محیط‌ها به سه گروه محیطی (ابر محیط) و ژنوتیپ‌ها به پنج گروه ژنوتیپی تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط‌های مربوط یزد (Yaz1 و Yaz2)، کرمان (Ker1 و Ker2)، Zab2 و Bir2، دومین گروه محیط‌های مربوط به اصفهان (Esf1 و Esf2) و Bir1 و گروه سوم مربوط به Zab1 بود. در گروه اول به ترتیب ژنوتیپ‌های G3، G8، G9، G10، G18، G19، G20، در گروه دوم ژنوتیپ‌های G1،



شکل ۵- نمایش چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط برای ۲۰ ژنوتیپ گندم نان مورد بررسی در ۱۰ محیط

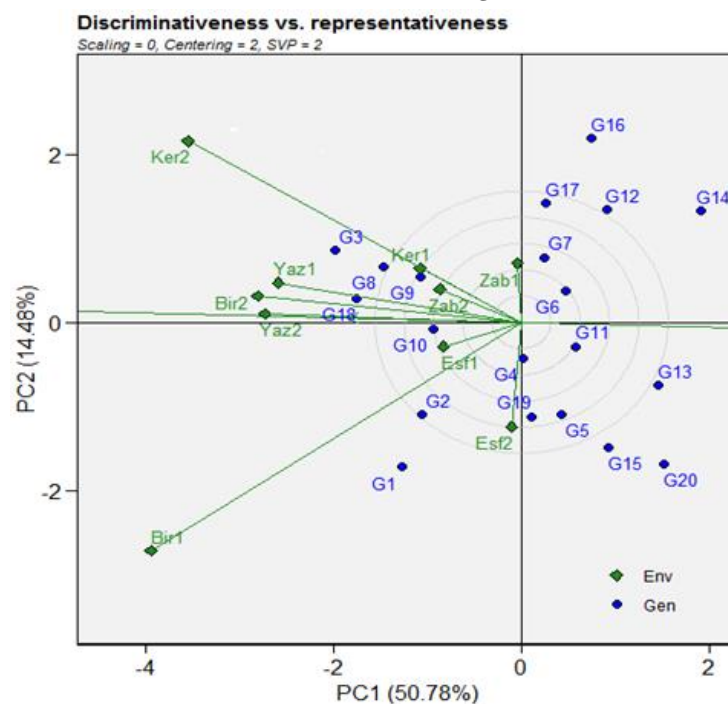
تفکیک ژنوتیپ‌ها می‌باشد. زاویه بین محیط‌ها در درون این گروه محیطی کمتر از ۹۰ درجه بود که حاکی از رفتار مشابه در رتبه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها است. از شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت که ژنوتیپ‌های G3، G8، G9،

بررسی روابط بین محیط‌ها همبستگی بسیار بالایی را بین محیط‌های Ker1، Ker2، Yaz1، Yaz2، Bir1، Bir2، Zab2 و Esf1 نشان داد. زاویه کمتر از ۹۰ درجه در بین محیط‌ها نشان‌دهنده عملکرد مشابه آن‌ها در شناسایی و

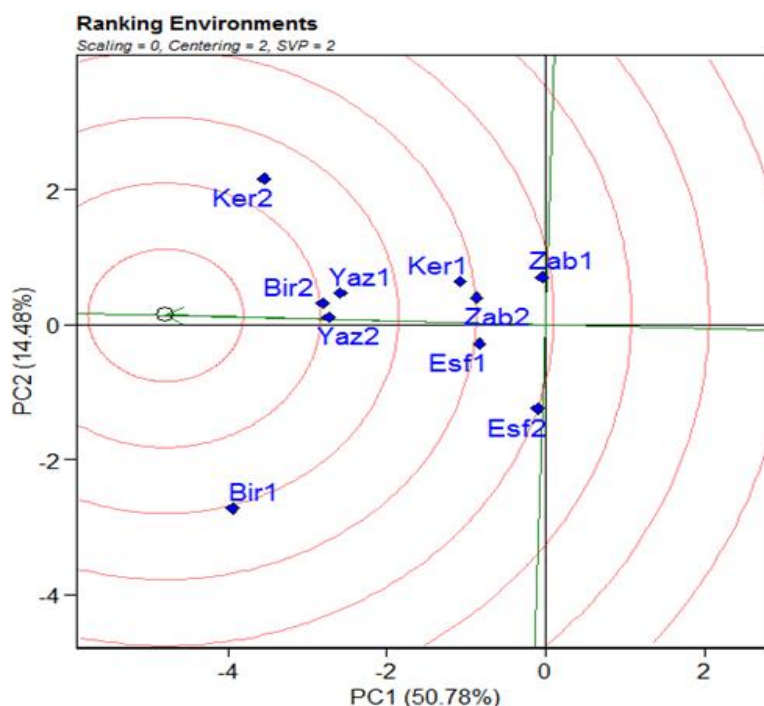
ژنوتیپ‌ها برمی‌گردد ولی توانایی نمایندگی یک محیط بیانگر این است که محیط موردنظر تا چه میزان نماینده شرایط سایر محیط‌های آزمایشی است (یان و تینکر ۲۰۰۶؛ بلانچ و مایر ۲۰۰۶). بنابراین محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو ویژگی را داشته باشد تا بتواند ژنوتیپ‌های سازگار را تشخیص دهد. این خصوصیت در مدل بای پلات GGE تحت عنوان قدرت تفکیک محیط‌ها در برابر میزان نمایندگی آن‌ها (Discriminateness vs. Representativeness) ارائه شده است (یان و تینکر ۲۰۰۶). باید در نظر داشت که هر چه طول بردار محیطی بیشتر باشد آن محیط توانایی بیشتری در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها دارد بنابراین محیط‌های Ker2 و Bir1 دارای بیشترین توانایی در تفکیک و تشخیص تنوع بین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل ۶). با توجه به شکل ۷ در این بررسی محیط ایده‌آلی مشاهده نمی‌شود ولی محیط‌های Yaz1, Yaz2 و Bir2 بسیار به محیط ایده‌آل نزدیک بوده و می‌توانند به‌عنوان محیط ایده‌آل برای ژنوتیپ‌های این آزمایش در نظر گرفته شوند.

G10 و G18 به این گروه محیطی سازگاری بیشتری نشان می‌دهند. از سوی دیگر زاویه بین محیط‌های Esf2 با Ker2 و Zab1 از یک طرف و Bir1 با Zab1 زیاد و بیشتر از ۹۰ درجه بود یعنی این محیط‌ها در رتبه‌بندی و تفکیک ژنوتیپ‌ها رفتاری متفاوت نسبت به هم نشان می‌دهند. البته در بعضی از سال‌ها تحت تاثیر شرایط محیطی از جمله تغییرات آب و هوایی، ممکن است استثنائاتی وجود داشته باشد. آزمایش‌های چند محیطی اغلب برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند اما می‌توان از اطلاعات به‌دست‌آمده برای ارزیابی محیط‌ها نیز بهره برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به‌طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و هم‌زمان نماینده خوبی از محیط‌های دیگر باشد (یان و تینکر ۲۰۰۶؛ یان و کانگ ۲۰۰۳).

این مفهوم از محیط‌های ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (فن و همکاران ۲۰۰۷)، پنبه (بلانچ و مایر ۲۰۰۶) و گندم دوروم (محمدی و همکاران ۲۰۱۲) بکار گرفته شده است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین



شکل ۶- نمودار GGE biplot روابط میان محیط‌ها و مقایسه هم‌زمان محیط‌ها از نظر قابلیت تفکیک ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن آن‌ها



شکل ۷- نمودار GGE biplot جهت ارزیابی محیط‌ها نسبت به محیط ایده‌آل

نتیجه‌گیری

ایده‌آل قرار داشتند. محیط‌ها به سه گروه محیطی و ژنوتیپ‌ها به پنج گروه ژنوتیپی تقسیم شدند. محیط‌های Ker2, Ker1, Yaz2, Yaz1, Bir2 و Zab2 در گروه اول، محیط‌های Esf1, Esf2 و Bir1 در گروه دوم و Zab1 در گروه سوم بود. در گروه اول به ترتیب ژنوتیپ‌های G3, G2 و G18, G9 و G10، در گروه دوم ژنوتیپ‌های G1 و G2 و در گروه سوم ژنوتیپ‌های G16, G17 و G7 دارای بیشترین عملکرد بودند. بنابراین می‌توان در مناطق یزد و کرمان ژنوتیپ‌های G3, G8 و G18 و در منطقه اصفهان ژنوتیپ‌های G1 و G2 را به عنوان ژنوتیپ‌هایی با سازگاری خصوصی جهت کشت در مناطق شور معرفی کرد. در نهایت با در نظر گرفتن عملکرد دانه و پایداری عملکرد، ژنوتیپ‌های G18 و G3 به عنوان ژنوتیپ‌های برتر انتخاب شدند که می‌توانند بعنوان رقم جدید برای مناطق با شرایط شور کشور معرفی شوند. مقایسه نتایج AMMI با نتایج GGE biplot نشان داد که تمامی این روش‌ها پتانسیل خوبی برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها دارند. با این حال روش GGE biplot در بررسی سازگاری و پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و معرفی ارقام با سازگاری خصوصی

در این تحقیق به منظور ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش شوری از دو روش AMMI و GGE biplot استفاده شد. نتایج حاصل از بای‌پلات AMMI1 نشان داد که ژنوتیپ‌های G19 و G5 دارای اثر متقابل کمتری بودند ولی ژنوتیپ G19 با میانگین عملکرد برابر با میانگین کل، به عنوان ژنوتیپ با پایداری مطلوب انتخاب شد. در روش بای‌پلات AMMI2 ژنوتیپ‌های G19, G5 و تا حدودی G10 با کمترین مقدار اثر متقابل نسبت به دو محور به عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناخته شدند که از بین آنها ژنوتیپ G10 به عنوان ژنوتیپ با سازگاری عمومی خوب تعیین شد. ژنوتیپ‌های G10, G19, G3, G4, G2 و G9 بر اساس شاخص انتخاب همزمان مبتنی بر شاخص پایداری AMMI و ژنوتیپ‌های G2, G16, G13, G1 و G3 بر مبنای شاخص انتخاب همزمان مبتنی بر میانگین وزنی نمرات مطلق به عنوان برترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. بر اساس تجزیه GGE biplot ژنوتیپ‌های G18 و G10 جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری عملکرد بالا بودند. همچنین ژنوتیپ‌های G18 و G3 به ترتیب در فاصله اندکی نسبت به ژنوتیپ

جهت مناطق مختلف کشت و همچنین به دلیل سهولت در تفسیر نتایج گرافیکی کاراتر و کاربردی تر است.

بدین وسیله از همه محققین، کارشناسان و کمک کارشناسان محترم مراکز و ایستگاه های تحقیقاتی مناطق شور کشور که در اجرا آزمایشات و تهیه اطلاعات همکاری صمیمانه ای داشته اند تشکر و قدردانی می شود.

سپاسگزاری

منابع مورد استفاده

- Abyar S, Navabpour S, Karimizadeh R, Gholizadeh A, Nasrollahnejad ghomi AA, and Kiani G. 2022. Grain yield stability evaluation of bread wheat genotypes using AMMI multivariate methods. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(1): 119-132. (In Persian). doi: 10.47176/jcpp.12.1.36253
- Adugna A. 2010. Assessment of yield stability in sorghum. *African Journal of Crop Science*, 15(2): 83-92. DOI:10.4314/acsj.v15i2.54421.
- Aghaee-Sarbarzeh M, Dastfal M, Farzadi H, Andarzian B, Shahbazzpour-Shahbazi A, Bahari M and Rostami H. 2012. Evaluation of durum wheat genotypes for yield and yield stability in warm and dry areas of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 2: 315-325. (In Persian). doi: 10.29252/abj.21.2.127
- Aharpaz F, Majidi Hervan E, roustaii M, Bihamta M, mohammadi S. 2023. Comprehensive stability analysis of wheat genotypes through multi-environmental trials. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(1): 317-334. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.999060>
- Ahmadi J, Pour-Aboughadareh A, Fabriki Ourang S, Mehrabi AA. and Siddique KHM. 2018. Screening wild progenitors of wheat for salinity stress at early stages of plant growth: insight into potential sources of variability for salinity adaptation in wheat. *Crop and Pasture Science*, 69(7): 649-658. DOI:10.1071/CP17418
- Al-Sayaydeh R, Shtaya MJ, Qubbaj T, Al-Rifae MK, Alabdallah MA, Migdadi O, Gammoh IA, Al-Abdallat AM. 2023. Performance and stability analysis of selected durum wheat genotypes differing in their kernel characteristics. *Plants*, 12(14): 1-18. DOI: 10.3390/plants12142664
- Amini A, Asadi AA, Chaichi M, Ezt-Ahmadi M, Ghasemi Kalkhoran M, Eivazi AR, Hosseinibay SK, Salehi P, Babaei T, Godsi M and Mirfakhraee N. 2023. Investigating the stability of promising bread wheat genotypes in cold climate using AMMI and GGE biplot analysis. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(3): 119-134. (In Persian). DOI: <http://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.348569.654940>
- Amini A, Tabatabaee MT, Moghaddam HA, Ravari Z, Amin Azarm D. and Tajali H. 2021. Evaluation of grain yield and its stability in bread wheat genotypes in saline regions of Iran. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4): 191-202. (In Persian). DOI: 10.22059/ijfcs.2020.290344.654649
- Annicchiarico P, Harzic N and Carroni AM. 2010. Adaptation, diversity, and exploitation of global white lupin (*Lupinus albus* L.) landrace genetic resources. *Field Crops Research*, 119(1): 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.022>
- Becker HC and Leon J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding*, 101: 1-25. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x>
- Blanche SB and Myers GO. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science*, 46: 946-949. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0279>
- Dehghani H, Ebadi A and Yousefi A. 2006. Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. *Agronomy Journal*, 98: 388-393. DOI:10.2134/agronj2004.0310
- Ehyaie M, Mostafavi K, Bakhtiar F and Mohammadi A. 2022. Yield stability of bread wheat genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. *Cereal Research*, 12(2): 147-165 (In Persian). doi: 10.22124/CR.2023.23333.1746

- Elakhdar A, Kumamaru T, Smith KP, Brueggeman RS, Capo-chichi LJA and 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. DOI: 10.1007/s12892-017-0016-0
- Esmailzadeh Moghaddam M, Zakizadeh M, Akbarimoghaddam H, Abedini Esfahlani M, Sayahfar M, Nikzad AR, Tabib-Ghafari SM and Lotfali Aeineh GA. 2011. Genotype \times 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). DOI: 10.22092/spij.2017.111062
- Fan XM, Kang MS, Chen H, Zhang Y, Tan J and Xu C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal*, 99: 220-228. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0144>
- Farshadfar E, Rashidi M, Jowkar MM and Zali H. 2012. GGE Biplot analysis of genotype \times environment interaction in chickpea genotypes. *European Journal of Experimental Biology*, 3(1):417-423. ISSN: 2248-9215 CODEN (USA): EJBAU
- Fattahi F and Yossefi A. 2006. Evaluation of yield stability of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.) using repeatable stability parameters and pattern analysis of AMMI model. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 37: 317-326. (In Persian). <https://www.researchgate.net/publication/3122188791470>.
- Gauch HG and Zobel RW. 1996. AMMI analysis of yield trials. P. 85-122. In: Kang MS, Gauch HG. (eds.) *Genotype by environment interaction*, 1-14 pp., CRC press. Boca Raton. <http://dx.doi.org/10.1201/9781420049374.ch4>
- Gautam A, Sai Prasad SV, Jajoo A and Bassi FM. 2023. Evaluation of Indian durum wheat genotypes for yield and quality traits using additive main-effects and multiplicative interaction (AMMI) biplot analysis under terminal heat stress conditions. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 5(3): 1-23. <https://doi.org/10.20900/cbagg20230004>
- Ghaedrahmati M, Hosseinpour T and Ahmadi A. 2017. Study of grain yield stability of durum wheat genotypes using AMMI. *Journal of Crop Breeding*, 9: 67-75. (In Persian). doi: 10.29252/jcb.9.23.67
- Ghazvini H, Pour-Aboughadareh A, Sharifalhosseini M, Razavi SA, Mohammadi S, GhasemiKalkhoran, M, FathiHafshejani A and. Khakizadeh Gh. 2018. Phenotypic stability analysis of barley promising lines in the cold regions of Iran. *Crop Breeding Journal* 8 (1 & 2): 17-29. (In Persian). DOI: 10.22092/cbj.2019.127226.1037
- Gupta, V, Mehta G, Kumar S, Ramadas S, Tiwari R, Singh G and Sharma P. 2023. AMMI and GGE biplot analysis of yield under terminal heat tolerance in wheat. *Molecular Biology Reports*, 50: 3459-3467. DOI: 10.1007/s11033-023-08298-4
- Hassanpanah D. 2011. Analysis of G \times E interaction using the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) in potato cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 10(2): 154-158. DOI: 10.5897/AJB09.633
- Jeberson MS, Kant L, Kishore N, Rana V, Walia DP and Singh D. 2017. AMMI and GGE biplot analysis of yield stability and adaptability of elite genotypes of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) for northern hill zone of India, *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 8: 635 - 641. DOI:10.23910/IJBSM/2017.8.5.1838
- Kamkar, B., Kafi, M. and Nassiri Mahallati, M. 2004. Determination of the most sensitive developmental period of wheat (*Triticum aestivum*) to salt stress to optimize saline water utilization. 4thInternational Crop Science Congress. Brisbane, Australia.
- Karimzadeh R, Hosseinpour T, Sharifi P, Alt Jafarby J, Shahbazi Homonlo K and Keshavarzi K. 2020. Grain yield stability of durum wheat genotypes in semi-warm rainfed regions, *Cereal Research*, 10(2):135-147 (In Persian). DOI: 10.22124/cr.2020.16274.1589

- Karimizadeh R, Hosseinpour T, Alt Jafarby J, Shahbazi Homonlo K, Armion M and Sharifi P. 2020. Stability analysis of durum wheat genotypes by GGE Biplot method. *Journal of Crop Breeding*, 2(35): 1-17. (In Persian). DOI: 10.52547/jcb.12.35.1
- Kendal E, Karaman M, Tekdal S and Dogan S. 2019. Analysis of promising barley (*Hordeum vulgare* L.) lines performance by AMMI and GGE biplot in multiple traits and environment. *Applied ecology and environmental research*, 17(2):5219-5233. DOI:10.15666/aeer/1702_52195233
- Khorsandi F and Hasheminezhad Y. 2019. Agriculture in saline conditions. National Salinity Center, Ministry of Agriculture-Jahad, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). DOI: 10.22059/ijfcs.2020.290344.654649
- Mahdavi AM, Babaeian Jelodar N, Farshadfar E and Bagheri N. 2022. Study of grain yield stability of bread wheat genotypes using non-parametric method and GGE biplot. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(2): 287-298. (In Persian). DOI: 20.1001.1.22287604.1401.15.2.1.7
- Moayed AA, Najafi Mirak T, Taherian M, Sasani S and Amin azarm D. 2020. Evaluation of grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) promising lines in moderate regions of Iran, *Journal of Agroecology*, 12(2): 345-358. (In Persian). DOI: 10.22067/jag.v12i2.85729
- Mohammadi R, Armion M, Sadeghzadeh B, Golkari S, Khalilzadeh G, Ahmadi H, Abedi-Asl G and 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). DOI: 10.22092/aj.2017.102141.1037
- Mohammadi R, Farshadfar E and Amri A. 2015. Interpreting genotype environment interactions for grain yield of rainfed durum wheat in Iran. *The Crop Journal*, 3(6): 526-535. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.08.003>
- Mohammadi R, Armion M, Zadhassan E and 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). <https://doi.org/10.22092/idaj.2014.100185>
- Mohammadi R and 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. DOI:10.1007/s10681-012-0839-1
- Mohammadi R, Armion M, Zadhassan E, Ahmadi MM and Sadeghzadeh Ahari D. 2012. Genotype × Environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE bipot Model. *Seed and Plant International Journal*, 3: 503-518. (In Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.111122
- Mohammadi R, Haghparast R, Amri A and Ceccarelli S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi environment trials. *Crop and Pasture Science*, 61: 92-101. DOI:10.1071/CP09151
- Mortazavian SMM, Nikkhah HR, Hassani FA, Sharif-al-Hosseini M, Taheri M and Mahlooji M. 2014. GGE biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16: 609-622. DOI: 20.1001.1.16807073.2014.16.3.5.3
- Nachshon U. 2018. Cropland soil salinization and associated hydrology: Trends, processes and examples. *Water*, 10: 1030. <https://doi.org/10.3390/w10081030>
- Najafi Mirak T, Agae Sarbarzeh M, Moayed A, Kaffashi A and Sayahfar M. 2021. Yield stability analysis of durum wheat genotypes using AMMI method, *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(2): 17-28 (In Persian). DOI: 10.22034/saps.2021.13087
- Najafi Mirak T, Moayed AA, Sasani S and 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). DOI: 10.29252/abj.21.2.127
- Olivoto T. 2019. Metan: multi environment trials analysis. R package version 1.1.0. <https://github.com/TiagoOlivoto/metan> (accessed 24 June 2019). DOI:10.1111/2041-210x.13384

- Omrani A, Omrani S, Khodarahmi M, Shojaei SH, Illés Á, Bojtor C, Mousavi SMN and Nagy J. 2022. Evaluation of grain yield stability in some selected wheat genotypes using AMMI and GGE biplot methods. *Agronomy*, 12(5): 1-14. DOI:10.3390/agronomy12051130
- Omrani S, Naji AM and Esmaeilzadeh Moghaddam M. 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and dry agro climatic zone of Iran using GGE biplot Model, *journal of Crop Breeding*, 9(23): 157-165(In Persian).DOI: 10.29252/jcb.9.23.157
- Perkinz JM and Jinks JL. 1971. Environments and genotype environment components of variability III. Multiple lines and crosses. *Heredity*, 23: 339-356. <https://doi.org/10.1038/hdy.1971.67>
- Purchase JL, Hatting H and Van Deventer CS. 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. DOI:10.1080/02571862.2000.10634878
- Qureshi AS, Qadir M, Heydari N, Turral H and Javadi A. 2007. A review of management strategies for salt-rone land and water recourses in Iran. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 30p. (IWMI Working paper 125). <https://doi.org/10.3910/2009.303>
- Ram K, Munjal R, Kesh H, Suresh and Kumari A. 2020. AMMI and GGE Biplot analysis for yield stability of wheat genotypes under drought and high temperature stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5): 377-389. DOI:10.20546/ijcmas.2020.905.043
- Rodriguez M, Rau D and Papa R. 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. DOI:10.1007/s10681-007-9635-8
- Sadiyah H and Hadi AF. 2016. AMMI model for yield estimation in multienvironment trials: A comparison to BLUP. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9: 163-169. DOI:10.1016/j.aaspro.2016.02.113
- Shahmohammadi M, Dehghani H and Yossefi A. 2004. Additive main effect and multiplicative interaction analysis (AMMI) in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Seed and Plant*, 20(4): 405-416. (In Persian). DOI:10.1501/Tarimbil_0000001292
- Sharifi P. 2020. Application of multivariate analysis methods in agricultural sciences. Rasht Branch, Islamic Azad University press. 308 p.
- Vaezi B, Pour-Aboughadareh A, Mohammadi R, Armion M, Mehraban A, Hossein-Pour T and Dorii M. 2017. GGE biplot and AMMI analysis of barley yield performance in Iran. *Cereal Research Communications*, 45(3): 500-511. (In Persian). <https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.019>
- Wang ZQ, Liu YX, Shi HR, Mo HJ, Wu FK and Lin Y. 2016. Identification and validation of novel low-tiller number QTL in common wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 129: 603-612. <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04277-2>
- Yan W and Tinker NA. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 623-645. DOI:10.4141/P05-169
- Yan W and Kang MS. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press: Boca Raton FL, Gauch HG and Zobel RW. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37: 311-326. DOI:10.1201/9781420040371
- Yan W and Hunt LA. 2002a. Biplot analysis of diallel data. *Crop Science*, 42: 21-30. DOI:10.2135/cropsci2002.0021
- Yan W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal*, 94: 990-996. DOI:10.2134/agronj2002.9900
- Yan W, Cornelius PL, Crossa J and Hunt LA. 2001b. Two types of GGE biplots for analyzing multi environment trial data. *Crop Science*, 41: 656-663. DOI:10.2135/cropsci2001.413656x
- Yan W, Hunt LA, Sheng Q and Szlavnicz Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*, 40: 596-605. DOI:10.2135/cropsci2000.403597x