"مقاله پژوهشی"

**ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های گندم دوروم به روش GGE بای‌پلات**

**رحمت‌الله کریمی‌زاده1، طهماسب حسین‌پور2، جبار آلت‌جعفرباي3، کمال شهبازی هومونلو4، محمد آرمیون5و پیمان شریفی6**

## 1- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران

## 2- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

## 3- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران

## 4- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مغان، ایران

## 5- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

## 6- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامي، رشت، ایران، (نویسنده مسوول: [sharifi@iaurasht.ac.ir](mailto:sharifi@iaurasht.ac.ir))

تاریخ دریافت: 13/3/99 تاریخ پذیرش: 27/5/99

صفحه: تا

**چکیده مبسوط**

**مقدمه:** **وجود تنش‌هاي محیطی همچون گرما، سرما و خشکی و خسارت‌های زیاد آنها در تولید محصول گندم دوروم   
(Triticum turgidum L.)، سبب روی‌آوری پژوهشگران به بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌های گوناگون و ارزیابی عملکرد دانه و پایداري آن به‌عنوان معیار مهمی در گزینش و معرفی رقم شده است.**

**مواد و روش‌ها:** **تعداد 19 لاین گندم دوروم برگزیده از آزمون مقدماتی عملکرد به‌همراه رقم شاهد دهدشت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در پنج منطقه گچساران، گنبد، مغان، خرم‌آباد و ايلام طی سه سال زراعی 1394-1391 بررسی شدند.**

**یافته‌ها:** تجزيه واريانس مرکب نشان داد که اثر ژنوتيپ، سال و مکان و برهمکنش سال × مکان، سال × ژنوتیپ و ژنوتیپ × سال × مکان بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. آزمون اسکریت نشان داد که چهار مؤلفه اصلی اول سهم قابل توجهی در توجیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) داشتند، به‌طوری‌که مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب 70/22٪ و 71/18٪ از تغییرات را توجیه می‌کردند. نمودار موزائیکی نشان داد که 54/11٪ از تنوع کل ناشی از اثر ژنوتیپ و 46/88٪ ناشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط بود. نمودار گرمایی نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های 16، 19 و 20 دارای عملکرد بالا در بسیاری از محیط‌ها بودند. نمای چندضلعی بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های 8، 7، 20 و 13 با توجه به نزدیک بودن به مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا به محیط‌های آزمایشی بودند و همچنین ژنوتیپ‌های 18، 15 و 11 سازگار به هیچ‌کدام از محیط‌ها نبودند. مطالعه همزمان اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط با نمای محور تستر متوسط (ATC) از بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های نزدیک به محور ATC، شامل ژنوتیپ‌های 2، 7، 1 و 20 علاوه بر پایدار بودن نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها، دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل بودند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار در نظر گرفته شوند. نمای بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های 1 و 2 نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل و در نتیجه مطلوب‌ترین آن‌ها بودند. نمای برداریGGE بای‌پلات نشان ‌داد که محیط‌های با توانایی تمایز و نمایندگی (1 و 3)، محیط‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار بودند

**نتیجه‌گیری: در مجموع، ژنوتیپ‌های 8، 7، 20 و 13 با نماهای مختلف بای‌پلات، علاوه بر پایداری از عملکرد بالاتری نیز برخوردار بودند و می‌توانند برای گزینش یا توصیه رقم استفاده شوند.**

**واژه‌های کلیدی: تنوع ژنتیکی، ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ ایده‌آل، نمودار موزائیکی، نمودار گرمایی**

**مقدمه**

وجود تنش‌هاي محیطی همچون گرما، سرما و خشکی و خسارت‌های زیاد آنها در تولید محصول گندم دوروم (*Triticum turgidum* L.)، سبب روی‌آوری پژوهشگران به بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها به محیط‌های گوناگون و ارزیابی عملکرد دانه و پایداري آن به‌عنوان معیار مهمی در گزینش و معرفی رقم شده است (36). ارقام دارای عملکرد بالاتر در محیط‌هاي تنش‌ (پرمحصول) و توانایی حفظ عملکرد در سال‌ها و مکان‌ها (پایدار)، ارقام برتر هستند (34). اثرهای ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (Genotype by Environent Interaction, GEI) تعیین‌کننده عملکرد یک ژنوتیپ هستند (43). بنابراین برهمکنش ژنوتیپ در محیط نیاز به بررسی دارد، تا پایدارترین ژنوتیپ در محیط‌های آزمایشی شناسایی شده و در صورت نبود چنین ژنوتیپی با عملکرد بهینه، شایسته‌ترین ژنوتیپ برای هر کدام از محیط‌ها معرفی شوند.

برهمکنش ژنوتيپ در محيط يكي از چالش‌های بزرگ در بررسي صفات كمي است (19). درباره برهمکنش ژنوتیپ در محیط اظهار شده است که اگر GEI برای صفتی وجود نداشته باشد، گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها آسان خواهد بود (43). اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه در گندم دوروم، در مطالعه‌های پژوهشگران دیگری نیز گزارش شده است (6،11،23). همچنین آقائی و همکاران (3) در پژوهشی، اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ در محیط را در لاین‌های امید بخش گندم دوروم گزارش کردند.

ابزارهای مختلفی برای مطالعه GEI وجود دارد و به‌نژادگران باید روش‌هایی را بکار ببرند که به‌‌طور كارآمد و دقیق واكنش ژنوتیپ‌ها را در محیط‌های آزمایشی چندگانه اندازه‌‌گیری كنند (40). یکی از روش‌های پیشنهادی، روش GGE بای‌پلات است که اثرات GEI را در یک نمودار واحد تجسم می‌کند و مقایسه ژنوتیپ‌ها و برهمکنش آنها را با محیط‌ها آسان می‌کند (10). بنابراین، به‌کارگیری این تکنیک برای تعیین کمیت برهمکنش ژنوتیپ در محیط گسترده است. این تکنیک، اثر اصلی ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GE) را با تجزیه مؤلفه‌‌های اصلی از یکدیگر جدا می‌کند (43). ابزار GGE بای‌پلات همچنین امکان شناسایی ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه بالا و پایدار در محیط‌های کلان (16) و یافتن بهترین ژنوتیپ برای هر محیط، پایداری ژنوتیپ و قدرت نمایندگی (Representative) و تمایز (Discriminating) هر محیط را فراهم می‌کند (33). برخی از پژوهشگران از این ابزار برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ در محیط در گندم دوروم نیز استفاده کرده‌اند، به‌طوری‌که در پژوهشی پايداري و سازگاري عملكرد دانه 17 ژنوتيپ پيشرفته گندم دوروم به‌همراه ارقام شاهد (ساجي، زردك و سرداري) در سه سال زراعی با روش‌های GGE باي‌پلات و AMMI بررسی شد و نتايج نشان داد که GGE باي‌پلات بسيار كاربردي‌ بود (32). همچنین محمدي و همکاران (27) با ارزیابی 23 ژنوتیپ گندم دوروم، ابراز داشتند که روش GGE باي‌پلات نسبت به روش رگرسیون به‌دلیل ارائه اطلاعات بیشتر ابزار مناسب‌تري براي مطالعه و تفسیر برهمکنش‌های ژنوتیپ در محیط است. در پژوهشی دیگر، قائدرحمتی و همکاران (11) با ارزیابی 20 ژنوتیپ گندم دوروم، در یک منطقه و چهار سال زراعی با روش بای‌پلات AMMI، ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند. بدری و همکاران (6) با بررسی 16 ژنوتیپ گندم دوروم در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در سه سال زراعی، تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر را با رسم بای‌پلات‌هایی بر اساس شش محیط (سه سال زراعی در دو شرایط آبیاری) انجام دادند و ژنوتیپ‌های برتر را شناساندند. در تحقیقی دیگر، نجفی میرک و همکاران (29) برای ارزیابی تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های گندم دوروم و یک رقم گندم نان به‌عنوان شاهد، از روشGGE بای‌پلات بهره گرفتند. در تحقیقی دیگر، محمدی و همکاران (26) با ارزیابی 20 ژنوتیپ گندم دوروم در سه مکان، دو سال زراعی و دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، بای‌پلات‌هایی رسم کردند که در آن ترکیب مکان، سال زراعی و شرایط آبیاری (12 محیط) را به‌عنوان محیط در نظر گرفتند. در پژوهشی دیگر، اباته و همکاران (1) با ارزیابی 13 ژنوتیپ گندم دوروم در چهار مکان و دو سال زراعی، بای‌پلات‌هایی را برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار کشیدند که در آن ترکیب سال در مکان به‌عنوان محیط در نظر گرفته شده بود و سه ژنوتیپ را به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار شناساندند. در تحقیقی دیگر، سینگ و همکاران (35)، با ارزیابی 50 ژنوتیپ گندم دوروم در نه محیط در حالی‌که دو مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب 9/27 و 7/18 درصد از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند، بای‌پلات‌هایی برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار کشیدند و دو ژنوتیپ پایدار را شناسایی کردند. کریمی‌زاده و همکاران (14) در پژوهشی برای بررسی پایداری 20 ژنوتیپ گندم دوروم در پنج مکان و چهار سال زراعی، از روش تجزیه بای‌پلات بر روی 20 محیط (ترکیب سال در مکان) استفاده کردند که در آن دو مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب 3/31 و 3/25 درصد از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند. همچنین محمدی و همکاران (28) با تجزیه بای‌پلات 20 ژنوتیپ گندم دوروم در 12 محیط (چهار مکان و سه سال)، چهار ژنوتیپ پایدار گندم را شناسایی کردند.

هدف از پژوهش حاضر، استفاده از ابزارGGE بای‌پلات براي شناسايي ژنوتيپ‌هاي برتر گندم دوروم در شرايط آب و هوايي مناطق ديم گرمسيري و نيمه‌گرمسيري كشور است.

مواد و روش‌ها

تعداد 19 ژنوتيپ پيشرفته گندم دوروم گزينش‌شده ‌از آزمايش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد، به‌همراه رقم شاهد دهدشت به‌صورت طرح بلوك‌هاي كامل تصادفي در سه تكرار و پنج منطقه گچساران، گنبد، مغان، خرم‌آباد و ايلام به‌مدت سه سال زراعی (1394-1391) و در كرت‌‌هايي به طول 03/7 متر و عرض 05/1 متر بر روي 6 خط با فاصله 5/17 سانتي‌متر و تراكم 300 دانه در مترمربع کشت گرديدند. شماره و شجره ژنوتیپ‌ها در جدول 1 و ویژگی‌های جغرافیایی و همچنین میزان بارش در طول دوره کاشت تا برداشت به‌ترتیب در جدول‌های 2 و 3 نشان داده شده است. با توجه به انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس نتایج آزمايش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد، ژنویپ‌ها ثابت و سال و مکان تصادفی در نظر گرفته شدند.

در هر سال از زمینی استفاده شد که سال پیش از آن آيش بود. عمليات تهيه زمين شامل شخم،‌ ديسك، تسطيح و فارو به‌طور معمول انجام شد و 100 كيلوگرم فسفات آمونيوم و 75 كيلوگرم اوره، به‌هنگام آماده‌سازی زمين، به‌طور يكنواخت با خاك مخلوط گرديد. درباره عملیات داشت، برای مبارزه با علف‌های هرز در مرحله پنج برگی یا در ابتدای ساقه رفتن، هنگامی که بردن تراکتور به مزرعه مشکلی پیش نمی‌آورد، سم‌پاشی با علف‌کش‌های ویژه نازک‌برگ‌ها و پهن‌برگ‌ها انجام شد. با توجه به شرایط دیم و همچنین روبرو نشدن با آفات و بیماری‌ها عملیات داشت دیگری انجام نشد.

جدول 1- شماره و شجره ژنوتیپ‌های بررسی شده

Table 1. Code and pedigree of studied genotypes

|  |  |
| --- | --- |
| کد ژنوتیپ | شجره |
| 1 | دهدشت |
| 2 | AINZEN\_1/3/MINIMUS\_6/PLATA\_16//IMMERCDSS99B00313S-0M-0Y-47Y-0M-0Y-2M-0Y |
| 3 | SORA/2\*PLATA\_12//SOMAT\_3/3/STORLOM/4/BICHENA/AKAKI\_7  CDSS02Y01279T-0TOPB-0Y-0M-29Y-0Y |
| 4 | CHEN\_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/4/SORA/PLATA\_12/5/STOT//ALTAR 84/ALD/10/PLATA\_ 10/6/ MQUE/4/USDA573//QFN/ AA \_7/3/ ALBA -D/5/AVO/HUI/7/PLATA\_13/8/THKNEE\_11 /9/CHEN /ALTAR 84/3/ HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT CDSS 02B00024S-0Y-0M-3Y-4M-04Y-0B |
| 5 | SOMAT\_4/SILVER\_1//POLARIS/5/NETTA\_4/DUKEM\_12//RASCON\_19/3/SORA/2\*  PLATA\_12/4/GREEN\_18/FOCHA\_1//AIRON\_1CDSS04Y01246T-0TOPB-18Y-0M-06Y-1M-1Y-0B |
| 6 | SOOTY\_9/RASCON\_37//TILO\_1/LOTUS\_4/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV\_1  /6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD\_9CDSS02B00380S-0M-3Y-06Y-3M-1Y-0B |
| 7 | Ter-1//Mrf1/Stj2ICD99-0866-C-0AP-5AP-AP-7AP-AP |
| 8 | Ammar-8ICD94-0918-C-12AP-0AP-6AP-0AP-2AP-0AP |
| 9 | Icajihan2ICD01-0251-T-4AP-TR-2AP-0AP |
| 10 | Geromtel-1/Icasyr-1ICD04-1101-TA-0AP-3AP-0AP |
| 11 | Arislahn-8//Bidra1/MikiICD03-0318-TA-3AP-0AP-4AP-0AP |
| 12 | Ouasloukos-1/5/Azn1/4/BEZAIZ-SHF//SD-19539/Waha/3/ GdrICD03-0342-TA-1AP-0AP-6AP-0AP |
| 13 | Icasyr-1/3/Gcn//Stj/Mrb3ICD02-1016-C-6AP-0TR-1AP-0AP-1AP-0AP |
| 14 | Geruftel-2ICD95-1302-C-3AP-0AP-1AP-0AP-5AP-AP-6AP-0AP |
| 15 | CHEN\_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/4/SORA/PLATA\_12/5/STOT//ALTAR84/ALD/9/USDA  595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/ HUI/YAV\_1 /6/ ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD\_9CDSS02 B00022S-0Y-0M-16Y-3M-04Y-0B |
| 16 | ARTICO/AJAIA\_3//HUALITA/10/PLATA\_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA\_7/3/ALBA-D/5/AVO /HUI/7/PLATA\_13/8/ THKNEE \_11 /9/CHEN/ALT AR84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/ FNFOOT /11/ CNDO/PRIMADUR //HA I-OU\_17/3/SNITAN CDSS04Y00724T-0TOPB-11Y-0M-06Y-2M-1Y-0B |
| 17 | Aghrass1/3/Mrf1//Mrb16/Ru/ُُSeri 34/2010-11 |
| 18 | Icasyr1/3/Bcr/Sbl5//T.urartu/ُُSeri 34/2010-11 |
| 19 | Mck2/Tilo2//Bcrch1/Kund1149/ُُSeri 33/2009-10 |
| 20 | Icarasha1/ُُSeri 33/2009-10 |

جدول 2- ویژگی‌های جغرافیایی مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographic characteristics of trials area

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| مکان | متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی | ارتفاع از سطح دریا (متر) |
| گچساران | 450 | °30، '17 شمالی | °50، '50 شرقی | 710 |
| گنبد | 550 | °37، '16 شمالی | °55، '12 شرقی | 45 |
| مغان | 312 | °47، '88 شمالی | °39، '39 شرقی | 100 |
| خرم‌آباد | 445 | °33، '29 شمالی | °48، '18 شرقی | 1147 |
| ايلام | 350 | °33، '47 شمالی | °46، '36 شرقی | 975 |

جدول 3- میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در طول فصل زراعی در سال‌های 1391 تا 1394

Table 3. Annual rainfall of test areas during the cropping season in 2012-2015

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| مکان | فصل زراعی | | | |
| 92-1391 | 93-1392 | 94-1393 |
| گچساران | 5/408 | 7/503 | 6/351 |
| گنبد | 2/557 | 8/534 | 4/279 |
| مغان | 4/348 | 9/247 | 0/335 |
| خرم‌آباد | 3/294 | 6/363 | 3/326 |
| ايلام | 6/197 | 1/396 | 8/325 |

پس از آزمون يكنواختي واريانس خطاهای آزمايشي با آزمون بارتلت و تجزيه واريانس مرکب با استفاده از بسته Agricolae (22) در نرم‌افزار R، پايداري عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها با روش‌ بای‌پلات GGE انجام شد. همچنین آزمون اسکریت (Screet test) برای شناساندن مناسب‌ترین تعداد مؤلفه‌های توجیه‌کننده برهمکنش‌ ژنوتیپ در محیط و نمودارهای گرمایی و موزائیکی به‌ترتیب برای نشان دادن میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و ارزیابی سهم ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مجموع مربعات کل به‌کار برده شد.

تجزیه‌ داده‌ها با استفاده از بسته‌های GGEBiplotGUI (7)، برای تجزیه GGE بای‌پلات و کشیدن نمودارهای مربوطه و gge (37)، برای کشیدن نمودارهای اسکریت، گرمایی و موزائیکی، در نرم‌افزار R انجام شد.

**نتایج و بحث**

**تجزیه واریانس**

تجزيه واريانس جداگانه براي هر يک از محيط‌ها (ترکيب سال و مکان) گویای معنی‌دار بودن اثر ژنوتیپ در همه محیط‌ها و در نتیجه تنوع در بین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه بود (جدول 4). آزمون يكنواختي   
واريانس خطاهای آزمايشي با آزمون بارتلت   
(χ2=15.3, P-value=0.38)، نشانگر يكنواختی واريانس‌ها بود و بنابراین بدون حذف داده‌هاي هيچ‌کدام از محيط‌ها، تجزيه مركب انجام شد. تجزيه واريانس مرکب داده‌ها معني‌دار بودن اثر ژنوتيپ، سال و مکان و برهمکنش سال × مکان، سال × ژنوتیپ و ژنوتیپ × سال × مکان را بر عملکرد دانه نشان داد (جدول 5).

اثر معني‌دار ژنوتيپ بیانگر تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌‌ها است. تفاوت بین سال‌‌ها می‌تواند ناشی از یکسان نبودن عوامل جوی همچون ميزان بارندگي، پراكنش آن در سال‌ها و توزيع متوازن بارندگي ماهیانه در دوره‌های مختلف رشدی گیاه، حداقل و حداكثر درجه حرارت هوا و خاك، مقدار پوشش برفي در مناطق و... باشد. اثر معنی‌دار مکان نیز می‌تواند به دلیل عواملي همچون خواص فيزيكي و شيميايي خاك مناطق، طول و عرض جغرافيايي، ارتفاع از سطح دريا و... باشد. اثرمتقابل معنی‌دار ژنوتیپ × سال ناشی از آن است که ژنوتیپ‌ها در سال‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی داشته‌اند. اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ × سال × مکان نشان‌دهنده اختلاف بین عملکرد ژنوتيپ‌ها از محيطي به محيط ديگر و وجود نوسان در عملکرد دانه است که نیاز به ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های گوناگون را برای شناسایی سازگاري عمومی و خصوصی نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که در برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ × سال × مکان، افزون بر تفاوت ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها، واکنش‌های متفاوت آنها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی هم موثر بوده است. برهمکنش معني‌دار ژنوتيپ × سال × مکان همچنین نشانه‌ای از تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، مکان‌های آزمایشی و سال‌ها است، پس امکان بهره‌گیری از تجزیه پایداری وجود دارد و می‌توان ژنوتیپ‌هاي سازگار به نواحی ویژه‌ و یا کل محیط‌ها را شناسایی کرد. با مقايسه داده‌هاي بارندگي و متوسط درجه حرارت در زمان آزمایش و داده‌هاي درازمدت، به‌نظر مي‌رسد که بیشترین میزان کاهش عملکرد ناشی از کاهش بارندگي و افزايش درجه حرارت و به عبارتی عوامل ناشی از تغییرات تصادفی سال باشد. این نتیجه در برهمکنش‌ معنی‌دار ژنوتیپ × سال نیز دیده می‌شود. قائدرحمتی و همکاران (11)، بدری و همکاران (6) و محمدی و همکاران (23) نیز اثرات معنی‌دار ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ × سال × مکان را در گندم دوروم گزارش کردند و بر اساس وجود چنین برهمکنش معنی‌داری اقدام به تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با روش‌های مختلف از جمله تجزیه بای‌پلات کردند.

**تعیین سهم مؤلفه‌ها در برهمکنش ژنوتیپ در محیط و نمودارهای گرمایی و موزائیکی**

با توجه به معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ در محیط، آزمون اسکریت انجام شد که نتایج آن نشان داد چهار مؤلفه اصلی اول هرکدام تقریباً سهم قابل توجهی در توجیه GEI داشتند (شکل 1-الف)، به‌طوری‌که مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب 70/22٪ و 71/18٪ از تغییرات را توجیه می‌کردند.

در هنگام وجود برهمکنش معنی‌دار ژنوتیپ در محیط، انتخاب و توصيه يك رقم براي همه محیط‌های مورد بررسی بايد با احتياط انجام شود و تلاش گردد که ژنوتیپی انتخاب شود كه با وجود داشتن عملکرد بالا، نوسان عملكرد كمتري از محیطی به محیط ديگر داشته باشد، یا به بیانی دیگر پايدار باشد. بنابراین با آنکه تجزیه واریانس اطلاعات بسیار مهمی فراهم می‌آورد، توانایی توجیه پایداری ژنوتیپ‌ها و الگوی واکنش آن‌ها به محیط‌های مختلف را ندارد و از این‌رو نیاز به ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها با بهره‌گیری از روش‌های گوناگون همچون تجزيه گرافيكي برهمکنش ژنوتیپ در محیط به روش GGE biplot است که در آن اثر محیط لحاظ نمی‌شود (40).

جدول 4- تجزيه واريانس ساده عملكرد دانه ژنوتيپ‌هاي گندم دوروم در هر کدام از محیط‌ها

Table 4. Analysis of variance on grain yield for durum wheat genotypes in any of envionmets

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| منابع تغييرات | درجه آزادي | ميانگين مربعات | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | محیط 1 | محیط 2 | محیط 3 | محیط 4 | محیط 5 | محیط 6 | محیط 7 | محیط 8 | محیط 9 | محیط 10 | محیط 11 | محیط 12 | محیط 13 | محیط 14 | محیط 15 |
| بلوک | 2 | 913221\* | 75169ns | 186923ns | 237282ns | 67960ns | 206563\* | 21246ns | 180160ns | 500260\* | 158907ns | 142940ns | 29505ns | 371173ns | 21268ns | 428100\* |
| ژنوتیپ | 19 | 890713\*\* | 189431\*\* | 2248020\*\* | 265363\*\* | 111975\* | 117446\* | 56390\*\* | 187718\* | 454881\*\* | 140476\* | 150203\* | 174643\*\* | 263224\* | 19163\* | 244995\* |
| خطای آزمایشی | 38 | 184489 | 25787 | 112401 | 107174 | 58687 | 59018 | 11553 | 81263 | 136683 | 71163 | 77265 | 17055 | 132420 | 8847 | 142605 |
| CV |  | 64/12 | 23/8 | 31/6 | 82/6 | 76/5 | 75/10 | 22/8 | 95/8 | 39/10 | 94/7 | 63/5 | 51/3 | 37/10 | 10/8 | 64/15 |

ns، \* و\*\*: به‌ترتيب معنی‌دار نیست و معني‌دار در سطح احتمال 1 و 5 درصد

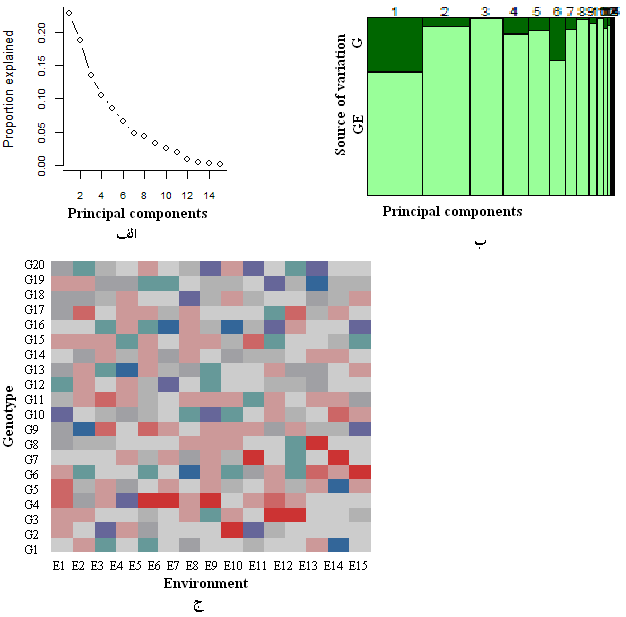
جدول 5- تجزيه واريانس مركب عملكرد دانه ژنوتيپ‌هاي گندم دوروم

Table 5. Combined analysis of variance on grain yield for durum wheat genotypes

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| منابع تغييرات | درجه آزادي | ميانگين مربعات |
| سال | 2 | 69581337\* |
| مکان | 4 | 99236076\*\* |
| سال × مکان | 8 | 17765673\*\* |
| خطاي محیط | 30 | 957004 |
| ژنوتيپ | 19 | 719076\*\* |
| ژنوتيپ × سال | 38 | 463627\*\* |
| ژنوتيپ × مکان | 76 | 98912ns |
| ژنوتيپ × سال × مکان | 152 | 267872\*\* |
| خطاي آزمایشی | 570 | 196546 |
| ضریب تغیرات |  | 7/13 |

ns، \* و\*\*: به‌ترتيب معنی‌دار نیست و معني‌دار در سطح احتمال 1 و 5 درصد

پیش از انجام چنین تجزیه‌هایی نیاز به بررسی سهم اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مجموع مربعات کل (TSS) است. در این راستا، لافونت و همکاران (21) چگونگی تقسیم مجموع مربعات کل به مجموع مربعات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را در یک نمودار موزائیکی با یک جدول دو طرفه نشان دادند که در آن، مجموع مربعات کل به مجموع مربعات ژنوتیپ (SSG) و مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GGE) می‌شکند (شکل 1-ب). در این نمودار که مساحت مربع، 100٪ مجموع مربعات کل است، نواحی با رنگ تیره تنوع کل ناشی از اثرات ژنوتیپی را نشان می‌دهد که برابر با 54/11٪ است. همچنین مناطق با رنگ روشن نشان‌دهنده تنوع ناشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط است که 46/88٪ درصد از کل تغییرات را در برمی‌گیرد. ستون‌های نمودار موزائیکی محورهای مؤلفه اصلی را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که ستون اول 70/22٪ از کل مساحت مربع را در برمی‌گیرد که سهم اولین مولفه اصلی در مجموع مربعات کل است. ستون (مؤلفه اصلی) دوم 71/18٪ از TSS را در بر گرفته است. این دو مؤلفه اصلی (برای ساختن بای‌پلات در شکل‌های بعدی) با هم، 42/41٪ (67/20+08/25) از TSS، 67/66% (21/59+44/7) از مجموع مربعات ژنوتیپ (SSG) و 11/38% (18/20+94/17) از مجموع مربعات برهمکنش ژنوتیپ در محیط (SSGE) را تشکیل می‌دهند. ردیف‌های نمودار موزاییکی (در داخل هر ستون)، آن ستون را به ناحیه ناشی از SSG و ناشی از SSGE، هر محور مؤلفه تقسیم می‌کند. بر این اساس سهم SSG و SSGE به‌ترتیب 30 و 70 درصد از مجموع مربعات محور مؤلفه اصلی اول را تشکیل می‌دهد. بنابراین فاصله بین نقاط ژنوتیپ‌ها تا محور اول (ستون عمودی نقطه ژنوتیپ تا محور مؤلفه اصلی اول) را نمی‌توان فقط همبسته با میانگین ژنوتیپ‌ها دانست و برهمکنش ژنوتیپ در محیط نیز بر روی این فاصله تأثیر می‌گذارد. قدرمطلق این همبستگی از جذر SSG1/SSG بدست می‌آید که در اینجا برابر با 77/0 است، درحالی‌که برای جذر SSGE1/SSGE برابر با 42/0 است. در مجموع مربعات محور مؤلفه دوم، سهم اثر GE نسبت به اثر G بسیار بیشتر است، به‌طوری‌که سهم مجموع مربعات ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌ترتیب 5 و 95 است و تقریباً می‌توان گفت که بیشتر تغیرات موجود در مولفه دوم ناشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط است. در مؤلفه اصلی سوم سهم اثر ژنوتیپ باز کاهش می‌یابد، اما در مؤلفه اصلی چهارم تا ششم سهم اثر ژنوتیپ رو به فزونی می‌گذارد، به‌طوری‌که در مؤلفه اصلی ششم سهم G و GE به‌ترتیب برابر با 24 و 76٪ است، اما سهم این مؤلفه در TSS ناچیز (67/6٪) است. بنابراین در مجموع، با توجه به سهم دو مؤلفه اصلی اول در TSS و سهم نسبتاً بالای اثر ژنوتیپ در مؤلفه اصلی اول و سهم بسیار بالای برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مؤلفه اصلی دوم، می‌توان از GGE بای‌پلات برای تفسیر اثرهای اصلی ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GE) بهره گرفت و ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محور نخست بای‌پلات می‌تواند اطلاعاتی درباره عملکرد و در محور دوم درباره پایداری را فراهم آورد. البته اگر سهم دو مؤلفه اصلی اول در TSS بیشتر از این مقدار (42/41٪) می‌بود، نتایج از اطمینان بیشتری برخوردار بودند. همچنین در صورت بیشتر بودن سهم اثر ژنوتیپ در مؤلفه اصلی اول، ارزیابی اثر اصلی ژنوتیپ اعتبار بیشتری داشت. همانند نتایج این پژوهش، علی‌پور و همکاران (5) با به‌کارگیری نمودار موزائیکی سهم اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را در تنوع ژنوتیپ‌های گندم بررسی کردند و نشان دادند که در مؤلفه اصلی اول سهم اثر ژنوتیپ بیشتر بود، حال آنکه در مؤلفه‌های بعدی برهمکنش ژنوتیپ در محیط سهم بیشتری در مجموع مربعات کل داشتند.



شکل 1- پیش‌-تجزیه‌های برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) 20 ژنوتیپ گندم در 15 محیط. الف. ریشه مشخصه ماتریس GEI؛ ب. نمودار موزائیکی مؤلفه‌های اصلی GEI؛ ج. نمودار گرمایی پراکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها

Figure 1. Pre-analysis of genotype × environment interaction (GEI) for grain yield of 20 durum wheat genotypes in 15 environments. A, Eigenvalues of the GEI matrix. B, Mosaic plot of GEI principal components. C, Heatmap plot of GEI.

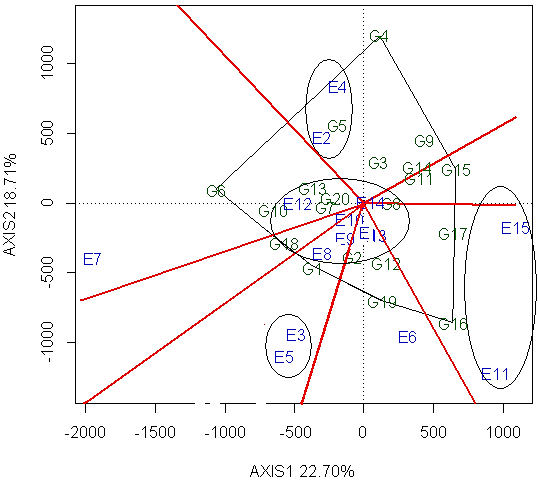
افزون بر نمودارهای بای‌پلات برای تفسیر اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط، نمودار گرمایی نیز برای ارزیابی موقعیت هر کدام از ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف به‌کار گرفته شد. در این نمودار، اگر ژنوتیپی در تمام محیط‌ها عملکرد یکنواختی داشته باشد، نمودی از پایداری آن است که بر این اساس ژنوتیپ‌های 12، 18، 19 و 20 تقریبا از پایداری نسبی در محیط‌ها برخوردار بودند و همچنین ژنوتیپ‌های 16، 19 و 20 دارای عملکرد بالا در بسیاری از محیط‌ها بودند (شکل 1-ج). به‌نظر می‌رسد که بهره‌گیری از نمودارهای مختلفی از جمله این نمودار در کنار نمودار بای‌پلات می‌توانند هرکدام سؤالاتی را پاسخ دهند که با نمودار دیگر پاسخ به آن پرسش‌ها مشکل‌تر یا غیرممکن است. در این نمودار عملکرد یک ژنوتیپ در محیط‌های مختلف نمودی از تنوع بین محیط‌ها و عملکرد ژنوتیپ‌های

مختلف درون یک محیط بیانگر تنوع درون محیطی است. بررسی میانگین ژنوتیپ‌ها در هر یک از محیط‌ها نشان داد که نه‌تنها ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر عملکرد دانه در یک محیط متفاوت هستند، بلکه میانگین آنها از محیطی به محیط دیگر نیز متفاوت بود. آقائی سربرزه و همکاران (2)، جهرمی (13)، کایا و تورکوز (11) و آکورا (4) نیز در ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم دوروم تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها را از محیطی به محیط دیگر مشاهده کردند و با توجه به وجود چنین تنوعی از تجزیه پایداری برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار استفاده کردند. این نتیجه نشان می‌دهد که گزینش ژنوتیپ‌ها فقط بر اساس عملکرد دانه در یک مکان نمی‌تواند دقیق و عملی باشد و باید ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف ارزیابی گردد، تا سازگاری و پایداری آنها تعیین شود (8).

**تجزیه GGE بای‌‌پلات**

بای‌پلات GGEنشان داد که دو مؤلفه اصلی اول به‌ترتیب 70/22 و 71/18 درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کرد. همانند تحقیق حاضر که با وجود توجیه حدود 42 درصدی برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌وسیله دو مؤلفه اصلی اول از تجزیه بای‌پلات برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها بهره گرفته شده است، کریمی‌زاده و همکاران (15)، نجفی میرک و همکاران (20)، سینک و همکاران (35) و کریمی‌زاده و همکاران (14) در گندم دوروم و اسماعیل‌زاده مقدم و همکاران (9) در گندم نان نیز با وجود سهم کمتر از 50 درصد دو مؤلفه اصلی اول در برهمکنش ژنوتیپ در محیط، از تجزیه بای‌پلات استفاده کردند و ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند. همچنین با توجه به نتایج نمودار موزائیکی که سهم   
نسبتاً بالای اثر ژنوتیپ در مؤلفه اصلی اول و سهم بسیار

بالای برهمکنش ژنوتیپ در محیط در مؤلفه اصلی دوم را نشان می‌داد، می‌توان از GGE بای‌پلات، برای تفسیر اثرهای اصلی ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GE) بهره گرفت، به‌طوری‌که محور نخست این نمودارهای بای‌پلات اطلاعاتی درباره عملکرد و محور دوم درباره پایداری ژنوتیپ‌ها را فراهم می‌آورند (21). تجزیه داده‌های آزمایش با روش GGE بای‌پلات برای نشان دادن دو عامل اصلی ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ × محیط (G×E) در ارزیابی رقم استفاده می‌شود (42). نمای چند ضلعی بای‌پلات (شکل 2) بهترین راه برای تجسم برهمکنش‌های بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها است (40) و یکی از جالب‌ترین ویژگی‌هایGGE است که به‌صورت گرافیکی مفاهیم اساسی از جمله سازگاری ویژه یک ژنوتیپ و تفکیک محیط‌های کلان (Mega-environment) را نشان می‌دهد (31).



شکل 2- نمای چند ضلعی GGE بای‌پلات بر اساس داده‌های عملکرد دانه 20 ژنوتیپ گندم دوروم آزمایش شده در 15 محیط. AXIS1 و AXIS1 به‌ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های 1 و 2 است.

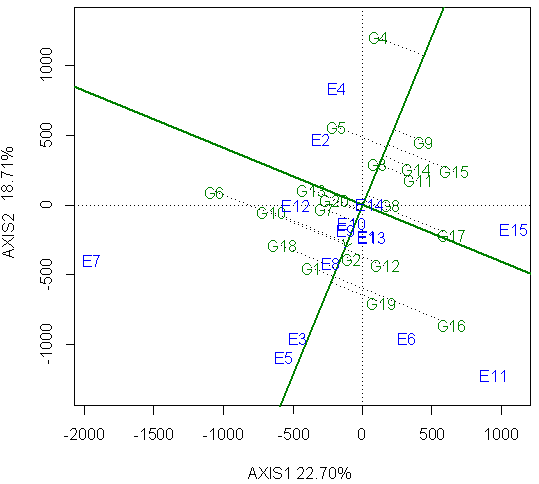
Figure 2. Polygon view of the GGE biplot based on grain yield data of 20 durum wheat genotypes tested in 15 environments. AXIS1 and AXIS1 are first and second principal components, respectively. The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

یک چندضلعی با پیوستن ژنوتیپ‌های رأسی با خطوط مستقیم ایجاد می‌شود، به‌گونه‌ای که تمام ژنوتیپ‌های دیگر در داخل چندضلعی جای گیرند (40). در این نمای بای‌پلات، ژنوتیپ‌های هر بخش، از بقیه ژنوتیپ‌ها با دو خط عمود جدا می‌شوند و خطوط عمود بر ضلع‌های چندضلعی، بای‌پلات را به بخش‌های تقسیم می‌كنند. ژنوتیپ‌های رأسی با بیشترین فاصله از مبدأ بای‌پلات، بهترین یا ضعیف‌ترین در برخی یا تمام محیط‌ها هستند، به‌طوری‌که ژنوتیپ رأسی برای هر بخش بهترین و با بالاترین ژنوتیپ برای محیط‌های داخل آن بخش است (40). یکی از جنبه‌‌های مهم نمای چندضلعی بای‌پلات، گروه‌بندی محیط‌ها و پیشنهاد ژنویپ‌های سازگار هر محیط است.

دلیل استفاده از نرکیب سال × مکان به‌عنوان محیط و کشیدن نمودارهای بای‌پلات بر روی 15 محیط (ترکیب سه سال زراعی و پنج مکان) این است که از آنجایی‌که در کشت دیم، شرایط یک مکان از سالی به سال دیگر با توجه به وضعیت آب و هوایی خیلی متفاوت است همچون کشت آبی نیست که اختلاف درون یک مکان در سال‌های مختلف وجود نداشته باشد و سال‌ها در یک مکان گاهی اوقات زاویه باز دارند، کشیدن بای‌پلات یک منطقه بر پایه میانگین سال‌های مختلف باعث می‌شود که تفاوت در یک مکان برای چندین سال چشمگیر باشد، به همین دلیل بهتر است تا هر مکان را در هر سال یک محیط فرض کرد. از طرفی در برخی از ایستگاه‌ها همچون گچساران یک سال کاشت و سال بعد آیش انجام می‌شود، حال آنکه در منطقه‌ای چون گنبد به‌دلیل رطوبت و بارندگی بالا زمین آیش گذارده نمی‌شود، به این دلیل هم نتایج می‌تواند در ایستگاه‌های مختلف در سال‌های مختلف متفاوت باشد. یعنی در ایستگاه‌های با تناوب آیش، زمین کاشته شده در یک سال می‌تواند متفاوت از زمین سال پیشین خود باشد (14). همچنین در این راستا اظهار شده است که از آنجا محیط‌های آزمایشی (ترکیب مکان- سال) در محیط‌های کلان مختلف می‌توانند همبستگی منفی با یکدیگر داشته باشند، باید ارقام مختلف به‌طور خاص برای هر محیط بزرگ پیشنهاد و توصیه شوند. همچنین دو مکان در یک محیط کلان یکسان ممکن است در هر سال همبستگی نزدیکی با هم نداشته نباشند، حتی اگر آنها ژنوتیپ‌ها را به‌طور مشابه در طی سال‌ها رتبه‌بندی کنند. مجموع تغییرات سالانه برای یک مکان در یک محیط بزرگ نشان‌دهنده G×E غیر قابل تکرار است و نیاز به آزمایش‌های چند مکانه و چند ساله را نشان می‌دهد (38). بنابراین با توجه به توجیه‌های بالا و معنی‌دار شدن برهمکنش ژنوتیپ × سال و ژنوتیپ × سال × مکان به نظر می‌رسد که نادیده انگاشتن این برهمکنش و ترسیم بای‌پلات بر اساس میانگین سال‌ها در هر مکان خالی از اشکال نباشد. همانند پژوهش حاضر که ترکیب سال × مکان به‌عنوان محیط انگاشته شد، صادق‌زاده و همکاران (32)، قائدرحمتی و همکاران (11)، جعفری و فرشادفر (12) و بدری و همکاران (6) در پژوهش‌های خود برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گندم در یک مکان، سال را به‌عنوان محیط و محمدی و همکاران (26)، اباته و همکاران (1)، کریمی‌زاده و همکاران (14) و محمدی و همکاران (28)، ترکیب سال × مکان را به‌عنوان محیط در نظر گرفتند و با کشیدن بای‌پلات‌هایی تجزیه پایداری را برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار انجام دادند.

نمای چندضلعی بای‌پلات به‌گونه‌ای به هفت ناحیه تقسیم شد که ژنوتیپ‌های 6، 4، 15، 16، 19، 18 و 1 در رأس آن بودند که بیشترین فاصله را از مبدأ بای‌پلات داشتند. از بین این‌ها، ژنوتیپ‌های 4 و 15 دارای عملکرد پایین‌تر از متوسط و بقیه دارای عملکرد بالاتر از متوسط بودند. در ناحیه اول، محیط‌های 7 و 12 با ژنوتیپ رأسی 6 و ژنوتیپ‌های 7، 10، 13، 18 و 20 قرار داشتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها به محیط‌های 7، 12 و 14 سازگار بودند. در بخش دوم با ژنوتیپ 4 در رأس و ژنوتیپ‌های 3، 5، 9 و 14 درون آن، دو محیط 2 و 4 قرار داشتند. در بخش سوم که ژنوتیپ 15 در رأس آن و ژنوتیپ 11 درون آن جای داشت، هیچ محیطی واقع نبود که نشان از سازگار نبودن این ژنوتیپ‌ها به هیچ‌‌کدام از محیط‌های مورد مطالعه دارد. ژنوتیپ 16 در رأس بخش چهارم و ژنوتیپ‌های 8 و 17 درون آن به محیط‌های 11 و 15 سازگاری داشتند. در بخش پنجم که ژنوتپ 19 در رأس آن و ژنوتیپ‌های 2 و 12 درون آن قرار داشتند، محیط‌های 6، 1 و 13 مناسب‌ترین محیط‌ها برای این ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ 1 (رقم دهدشت) که در رأس بخش ششم چندضلعی جای گرفته بود، به بسیاری از محیط‌ها از جمله 14، 8، 10، 9، 3 و 5 سازگار بود که این نشان از دقت و درستی معرفی این رقم به‌عنوان یک گونه سازگار است. در بخش آخر ژنوتیپ 18 در رأس آن جای داشت و هیچکدام از ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها درون بخش مربوطه واقع نبودند. در مجموع نمای چندضلعی بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های 8، 7، 20 و 13 با توجه به نزدیک بودن به مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا به محیط‌های آزمایشی بودند و همچنین ژنوتیپ‌های 18، 15 و 11 سازگار به هیچ‌کدام از محیط‌های دیگر نبودند، حال آنکه سایر ژنوتیپ‌ها سازگاری به برخی از محیط‌ها داشتند (شکل 2). همان‌گونه که گفته شد از دیگر کاربردهای این نمای بای‌پلات، شناسایی محیط‌های کلان یا ابر-محیط‌ها است که بر این اساس می‌توان چهار محیط کلان را شناسایی کرد. نخستین   
ابر-محیط E2 و E4؛ ابر-محیط دوم E11 و E15؛   
ابر- محیط سوم E3 و E5؛ و ابر-محیط چهارم E1، E8، E9، E10، E12، E13 و E14 را در بر می‌گیرد. دو محیط E6 و E7 در هیچ‌کدام از این محیط‌های کلان نمی‌گنجند. تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر کدام از گروه‌های محیطی نشان‌دهنده برهمکنش از نوع تغییر در رتبه است (41). همچنین جای گرفتن برخی از محیط‌ها در گروه‌های مشابه نشان می‌دهد که رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌هاي یک گروه خاص تغییرات زیادي نداشت که نشان‌دهنده برهمکنشی است که در آن رتبه ژنوتیپ‌ها تغییر نمی‌کند. *در تطابق با یافته حاضر، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش بای‌پلات، ژنوتیپ‌های پایدار گندم دوروم را شناسایی کردند (*25،27،32).

ميانگين عملکرد دانه و پايداري ژنوتيپ‌ها با محور تستر متوسط (average tester coordinate, ATC) يا محور محیط متوسط (average environment coordinates, AEC) در یک بای‌پلات ژنوتیپ محور ارزيابي می‌شود. خطی که از مبدا بای‌پلات و میانگین محیط (میانگین نمرات PC1 و PC2 محیط‌ها) عبور می‌کند، محور ATC نامیده می‌شود. بُعد قائم ATC، که از مبدأ بای‌پلات می‌گذرد و عمود بر بُعد افقی ATC است، برهمکنش ژنوتیپ در محیط (GEI) را تقریب می‌زند و شاخصی از تنوع یا ناپایداری ژنوتیپ‌ها است. بُعد افقی ATC، نشان‌دهنده اثر اصلی ژنوتیپ (G) است. با توجه به این نمای بای‌پلات، مطالعه همزمان اثر ژنوتیپ (G) و برهمکنش ژنوتیپ با محیط (G×E) امکان‌پذیر است. شکل 3 تجسم نشانه‌های هر ژنوتیپ بر روی محور تستر متوسط را نشان می‌دهد و تقریبی از رتبه عملکرد ژنوتیپ‌ها   
را به دست می‌دهد. بر پایه این نمای بای‌پلات، رتبه ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد دانه به صورت 19<16≈1<18<2<12<10≈6<7<20≈13<17≈8<3≈11<14<5≈15<9<4 بود. این نتیجه تا حدود زیادی مطابق با رتبه ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد است که در آن بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های 19 (3262 کیلوگرم در هکتار) و 4 (2643 کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. در این رتبه‌بندی ژنوتیپ‌های تا شماره 20 دارای عملکردی بیشتر از متوسط و از ژنوتیپ‌های 17 دارای عملکردی کمتر از متوسط بودند. رقم شاهد (دهدشت) داراي عملكرد دانه بالاتر از متوسط بود. هرچه ژنوتیپ‌ها از این خط ATC فاصله بیشتری داشته باشند، بیانگر آن است که در برهمکنش ژنوتیپ در محیط نقش بیشتری داشته‌اند و از پایداری کمتری برخوردار هستند. بر این اساس، فاصله نسبی ژنوتیپ‌ها به محور ATC نشان داد که ژنوتیپ‌های 6 و 16 دارای بیشترین فاصله به‌ترتیب در بالا و پایین این محور بودند و نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها متغیر‌تر و ناپایدارتر بودند. ژنوتیپ‌های نزدیک به محور ATC، شامل ژنوتیپ‌های 2، 7، 1 و 20 علاوه بر پایدار بودن نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها، دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل بودند (شکل 3). نمای ATC نشان داد که ژنوتیپ‌های 2 و 1 علاوه بر عملکرد بالای دانه، نسبت به محیط آزمایشی نیز پایدارتر بودند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ پایدار در نظر گرفته شوند. ژنوتیپ‌های 3، 8 و 9، با پایداری بالا و عملکرد دانه کم، مطلوب نبودند.

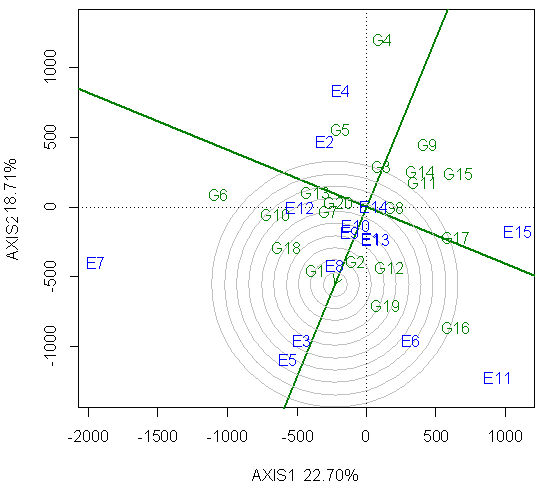


شکل 3- نمایش میانگین مختصات تستر (ATC) از بای‌پلات GGE بر اساس داده‌های عملکرد دانه 20 ژنوتیپ گندم دوروم آزمایش شده در 15 محیط. AXIS1 و AXIS1 به‌ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های 1 و 2 است.

Figure 3. Average tester coordinate (ATC) view of the GGE biplot based on grain yield data of 10 rice genotypes for grain yield in nine environments. AXIS 1 and AXIS 1 are first and second principal components, respectively. The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

ژنوتیپ ایده‌آل که بر پایه دارا بودن بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه (با بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا یا خط ATC) و پایداری نسبت به شرایط محیطی (با کمترین نقش در برهمکنش ژنوتیپ در محیط و در نتیجه کمترین فاصله عمودی با خط ATC) شناسانده می‌شود، با یک دایره کوچک در بُعد افقی ATC و پیكان به سوی آن اشاره می‌شود و می‌تواند برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها استفاده ‌شود. همان‌گونه که در بخش ارزیابی‌های اولیه ژنوتیپ‌ها دیده شد (نمودار موزائیکی)، محور نخستین مؤلفه اصلی نشان‌گر عملکرد و محور دومین مؤلفه اصلی بیانگر پایداری ژنوتیپ‌ها بود. اگرچه ممکن است یک ژنوتیپ ایده‌آل در واقعیت وجود نداشته باشد‌، اما می‌تواند به‌عنوان مرجع برای ارزیابی ژنوتیپ اندازه‌گیری شود (17) و به‌عنوان معیاری برای گزینش ژنوتیپ استفاده شود (40). بنابراین "پایداری بالا" فقط در صورت همراه بودن با میانگین عملکرد می‌تواند تعریف شود. از فاصله بین ژنوتیپ ایده‌آل و هر یک از ژنوتیپ‌ها، می‌توان به‌عنوان یک معیار از سودمندی ژنوتیپ، برای گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و پایدار استفاده شود. هرچقدر فاصله ژنوتیپ‌ها از این ژنوتیپ ایده‌آل بیشتر باشد، از مطلوبیت آن (عملکرد و پایداری) کاسته می‌شود. این نمای بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌هایG1 و G2 نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل و در نتیجه مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. ژنوتیپ ایده‌آل در اولین دایره متحد‌المرکز در بای‌پلات قرار دارد و ژنوتیپ مطلوب که به این ژنوتیپ ایده‌آل نزدیک‌تر است، در آزمایش های بعدی قابل بررسی است، در حالی‌که ژنوتیپ نامطلوب که دور از ژنوتیپ ایده‌آل است می‌تواند در چرخه‌های اولیه به‌نژادی حذف شود (28). ژنوتیپ‌های خارج از آخرین حلقه شامل ژنوتیپ‌های 6، 11، 14، 15، 9، 5 و 4 نامطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند (شکل 4).

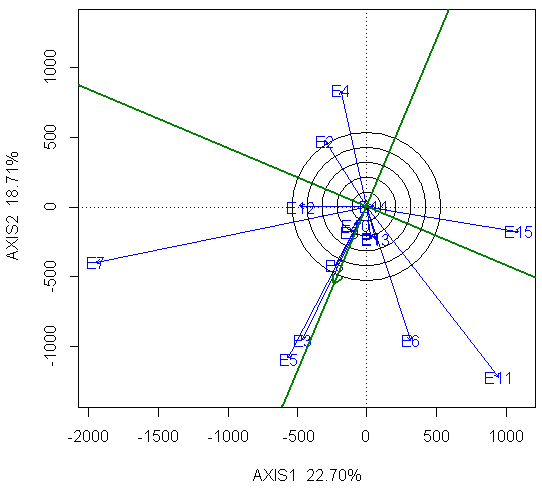
شکل 5 نمای برداریGGE بای‌پلات است که محیط‌ها را از طریق خط‌هایی به مبدأ بای‌پلات وصل می‌کند و به درک روابط بین محیط‌ها کمک می‌کند. برخی از بردارهای محیطی خیلی بلند هستند و بنابراین کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها می‌تواند به درستی برآورد شود. در میان 15 محیط‌ بررسی شدهE7 (خرم‌آباد، سال دوم)، E3 (گنبد، سال اول)، E5 (مغان، سال اول)، E4 (ایلام، سال اول)، E15 (مغان، سال سوم)، E11 (گچساران، سال سوم) و E6 (گچساران، سال دوم) بیشترین (دورترین محیط‌ها از مبدأ بای‌پلات) وE14 (ایلام سال سوم)، E10 (مغان سال دوم)، E9 (ایلام سال دوم)، E1 (گچساران، سال اول) و E13 (گنبد، سال سوم) (نزدیکترین محیط به مبدأ بای‌پلات) کمترین توانایی تمایز (Discriminating) بین ژنوتیپ‌ها را داشتند. محیط‌هایی که توانایی تمایز ندارند، اطلاعات کمی درباره ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهند و از این رو نباید به‌عنوان محیط‌های آزمایشی به‌کار گرفته شوند. محیطی که نسبت به ATC زاویه کمتری دارد، نسبت به سایر محیط‌ها نمایندگی (Representative) بیشتری دارد. بنابراین،E14 ، E10، E9، E8، E3 و E5 بیشترین نمایندگی را دارند، درحالی‌که محیط‌هایE7 ، E12، E2، E4، E15 ، E11 و E6 کمترین نمایندگی را دارند. محیط‌های آزمایشی غیر متمایز (آنهایی که دارای بردارهای بسیار کوتاه هستند) (به‌عنوان مثالE14 ، E10 و E9) کمتر مفید هستند، زیرا اطلاعات تمایز کمی درباره ژنوتیپ‌ها ارائه می‌دهند (شکل 5). از دیگر کاربردهای این نمای بای‌پلات بررسی همبستگی بین محیط‌ها و حفظ یا حذف محیط‌ها در آزمایش‌های بعدی است. بر این اساس، محیط‌هایE14 ، E10، E9، E1 و E13 بیشترین همبستگی را با یکدیگر دارند. محیط‌های 12 و 7 و همچنین 2 و 4 نیز دارای همبستگی با یکدیگر هستند (شکل 5).



شکل 4- GGE بای‌پلات براساس مقیاس‌بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده‌آل. AXIS1 و AXIS1 به‌ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های 1 و 2 است.

Figure 4. GGE-biplot based on genotype-focused scaling for comparison the genotypes with the ideal genotype. AXIS 1 and AXIS 1 are first and second principal components, respectively. The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

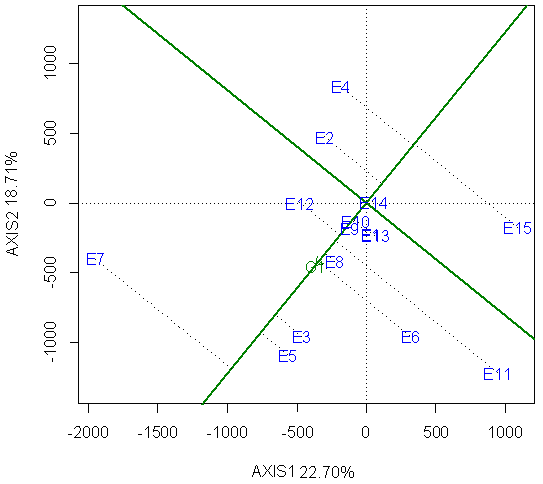
نمای برداریGGE بای‌پلات می‌تواند اطلاعات مربوط به واریانس درون محیط را نیز ارائه دهند، به‌طوری‌که طول بردارهای محیط (در یک بای‌پلات محیط محور) تقریباً متناسب با انحراف استاندارد ژنوتیپ‌ها در هر محیط است (20)، در حالی‌که برای یک بای‌پلات متمرکز بر ژنوتیپ، تقریباً تنوع را در میان محیط‌ها نشان‌ می‌دهد (40). طول بردارهای محیط متناسب با انحراف استاندارد در محیط‌های مربوطه و معیار توانایی تمایز محیط‌ها است (41). توضیح اینکه محیط‌های با زاویه بسته نسبت به خط ATC، به‌خصوص آنهایی که بردارهای بلندتری نیز دارند، علاوه بر نمود عملکرد بالا (نمایندگی)، به خوبی می‌توانند ژنوتیپ‌های پایدار را از ژنوتیپ‌های ناپایدار تمییز دهند. این نمای بای‌پلات نشان داد که محیط‌های با توانایی تمایز و نمایندگی (کوچکترین زاویه) (به‌عنوان مثال، E3 و E5)، محیط‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار هستند. محیط‌های با توانایی تمایز، اما غیر نماینده (به‌عنوان مثال، E7، E4، E15، E11 و E6) برای گزینش ژنوتیپ‌های خاص با توجه به تقسیم محیط‌های هدف به محیط‌های کلان قابل استفاده هستند. بنابراین محیط 3 (گنبد سال اول) هم محیطی پایدار و هم دارای بیشترین میزان عملکرد دانه در مقایسه با دیگر محیط‌ها بود. پراكنش مناسب بارندگي در طول فصل زراعي به‌خصوص در مراحل خوشه‌دهي (اواخر اسفند تا اواخر فروردين) و پرشدن دانه گندم (اواخر فروردين تا اواسط ارديبهشت) در این محیط سبب شد که سال خوبي براي ارزيابي لاين‌ها باشد و كمترين تنش خشكي در فصل رشد گياه اتفاق بیفتد، هر چند ميزان كل بارندگي نسبت به سال قبل كاهش ناچیزی نشان داده بود. از نظر دمايي، نیز سال زراعي 92-1391 سال در این منطقه سال معتدل بود. از دلایل کاهش متوسط عملکرد دانه در محیط 1 (گچساران سال اول) می‌توان مطلوب نبودن ميزان بارندگی و پراكنش ماهانه بارندگي را گفت، به‌طوری‌که در دوره ظهور خوشه که حساس‌ترين مرحله نياز آبي گندم مي‌باشد ميزان بارندگي افت شديدي پيدا کرده بود. این دیدگاه از بای‌پلات همچنین محیط‌های اضافه را مشخص می‌کند. اگر برخی از محیط‌ها با یکدیگر همبستگی مثبت دارند، اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌های بدست 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. به‌دست آوردن اطلاعات یکسان یا بهتر با استفاده از محیط آزمایش کمتر، باعث کاهش هزینه و افزایش بازده اصلاحی می‌شود و پیشنهاد شده است که کاهش مکان‌ها سبب کاهش هزینه آزمایش می‌شود (39).



شکل 5- نمای برداریGGE بای‌پلات که روابط بین محیط‌های آزمایش را نشان می‌دهد. AXIS1 و AXIS1 به‌ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های 1 و 2 است.

Figure 5. The vector view of the GGE biplot that shows the interrelationships among the test environments. AXIS1 and AXIS1 are first and second principal components, respectively. The code of genotypes and environments are similar to Table 1 and Table 2, respectively.

برای نشان دادن چگونگی تجسم سازگاری نسبی یک ژنوتیپ خاص در محیط‌های مختلف، که برای به‌نژادگران و کشاورزان مطلوب است، یک خط از نشانه ژنوتیپ در محور مختصات و مبدأ بای‌پلات کشیده می‌شود که به‌عنوان محور ژنوتیپ نامیده می‌شود (40). محور ATC بای‌پلات برای ژنوتیپ شاهد 1 (رقم دهدشت) با توجه به موقعیت این ژنوتیپ در بای‌پلات همانند ATC محور متوسط است و عملکرد نسبی این رقم را در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد که گویای آن است که این ژنوتیپ به محیط‌های 7، 5، 3، 6، 8، 11، 2، 9، 10 و 13 سازگار است و در محیط هفتم بیشترین عملکرد و در محیط‌های چهارم و پانزدهم کمترین عملکرد دانه را داشت (شکل 6).



شکل 6- مقایسه عملکرد رقم G1 در محیط‌های مختلف. AXIS1 و AXIS1 به‌ترتیب مؤلفه اصلی اول و دوم هستند؛ شماره ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌ترتیب همانند جدول‌های 1 و 2 است.

Figure 6. Comparison of the performance of cultivar G1 in different environments. AXIS1 and AXIS1 are first and second principal components, respectively. The code of genotypes and environments are similar to Tables 1 and Table 2, respectively.

آزمون اسکریت نشان داد که چهار مؤلفه اصلی اول سهم قابل توجهی در توجیه GEI داشتند، به‌طوری‌که مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب 70/22٪ و 71/18٪ از تغییرات را توجیه می‌کردند. نمودار موزائیکی با شکستن مجموع مربعات کل به اجزای آن نشان داد که 54/11٪ از تنوع کل ناشی از اثر ژنوتیپ و 46/88٪ ناشی از برهمکنش ژنوتیپ در محیط است. با ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف با نمودار گرمایی نیز نشان داده شد که ژنوتیپ‌های 12، 18، 19، 7 و 20 تقریبا از پایداری نسبی در محیط‌ها برخوردار بودند و همچنین ژنوتیپ‌های 16، 19 و 20 دارای عملکرد بالا در بسیاری از محیط‌ها بودند. نمای چندضلعی بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های 8، 7، 20 و 13 با توجه به نزدیک بودن به مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا به محیط‌های آزمایشی بودند و همچنین ژنوتیپ‌های 18، 15 و 11 سازگار به هیچ‌کدام از محیط‌های دیگر نبودند، حال آنکه سایر ژنوتیپ‌ها سازگاری به برخی از محیط‌ها داشتند. مطالعه همزمان اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط با نمای محور تستر متوسط بای‌پلات نشان داد که بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های 19 (3262 کیلوگرم در هکتار) و 4 (2643 کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. همچنین این نمای بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های نزدیک به محور ATC، شامل ژنوتیپ‌های 2، 7، 1 و 20 علاوه بر پایدار بودن نسبت به بقیه ژنوتیپ‌ها، دارای عملکرد بالاتر از متوسط کل بودند. نمای بای‌پلات ژنوتیپ ایده‌آل نشان داد که ژنوتیپ‌های 1و 2 نزدیک‌ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ ایده‌آل و در نتیجه مطلوب‌ترین آن‌ها بودند. نمای برداریGGE بای‌پلات نشان ‌داد که محیط‌های با توانایی تمایز و نمایندگی (کوچکترین زاویه) (E3 و E5)، محیط‌های مناسبی برای انتخاب ژنوتیپ‌های سازگار بودند. محیط‌های با توانایی تمایز، اما غیر نماینده (E7، E4، E15، E11 و E6) برای گزینش ژنوتیپ‌های خاص با توجه به تقسیم محیط‌های هدف به محیط‌های کلان قابل استفاده هستند. نمای محور ژنوتیپ برای رقم شاهد دهدشت (ژنوتیپ 1) نشان داد که این ژنوتیپ به 75٪ از محیط‌های آزمایشی سازگار بود. به‌نظر می‌رسد که بهره‌گیری از نمودارهای مختلفی هرکدام می‌توانند پرسش‌های ویژه‌ای را پاسخ گویند که با نمودار دیگر مشکل‌ یا غیرممکن است. در مجموع، ژنوتیپ‌های 8، 7، 20 و 13 با نماهای مختلف بای‌پلات، علاوه بر پایداری از عملکرد بالاتری نیز برخوردار بودند. توضیح اینکه ژنوتيپ‌ 20، بر اساس كمترين مقدار معیار پارامتری تک‌متغیره ضريب تغييرات و ميانگين عملكرد بالاتر از ميانگين عملکرد کل، به‌عنوان پايدارترين ژنوتيپ بود.

**منابع**

1. Abate, F., F. Mekbib and Y. Dessalegn. 2015. GGE Biplot analysis of multi-environment yield trials of durum wheat (Triticum turgidum Desf.) genotypes in north western Ethiopia. American Journal of Experimental Agriculture, 8(2): 120-129.
2. Aghaee-Sarbarzeh, M., M. Dastfal, H. Farzadi, A. Andarzian, A. Shahbazpour Shahbazi, M. Bahari and H. Rostami. 2012. Evaluation of durum wheat genotypes for yield and yield stability in warm and dry areas of Iran. Seed and Plant Improvement Journal, 28-1(2): 315-325 (In Persian).
3. Aghaei, S., M. Nasr-Esfahani and E. Tohidi-Nejad. 2016. Assessment of quality traits of some advanced lines of durum wheat at Isfahan. Journal of Crop Breeding, 8(19): 1-16 (In Persian).
4. Akcura, M., Y. Kaya, S. Taner and R. Ayranici. 2006. Parametric stability analysis for grain yield of durum wheat. Plant, Soil and Environment, 52: 254-261.
5. Alipour, H., H. Abdi, Y. Rahimi and M.R. Bihamta. 2019. Investigating grain yield and yield stability of wheat cultivars introduced in Iran over the last half century. Cereal Research, 9(2): 157-167 (In Persian).
6. Badri, H., R. Mohammadi and A. Atminan. 2020. Study on Adaptability and Grain Yield Stability of Durum Wheat Genotypes. Journal of Crop Breeding, 12(33):119-126 (In Persian).
7. Bernal, E.F. and P.G. Villardon. 2016. GGEBiplotGUI: Interactive GGE Biplots in R. https://cran.r-project.org/ web/packages/GGEBiplotGUI/index.html.
8. Eberhart, S.A. and W.A. Russel. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6: 36-40.
9. Esmaeilzadeh Moghaddam, M., S. Tahmasebi, G.A. Lotf Ali Ayeneh, H. Akbari Moghadam, K. Mahmoudi, M. Sayyahfar, S.M. Tabib Ghaffari and H. Zali. 2018. Yield stability evaluation of bread wheat promising lines using multivariate methods. Cereal Research, 8(3): 333-344 (In Persian).
10. Gauch, H.G. and R.W. Zobel 1996. AMMI analysis of yield trials. PP. 85-122. In: M. S. Kang and H. G. GauchJr (Eds.), Genotype by Environment Interaction, CRC Press, Boca Raton, New York.
11. Ghaedrahmati, M., T. Hossein Pour and A. Ahmadi. 2017. Study of Grain Yield Stability of Durum Wheat Genotypes using AMMI. Journal of Crop Breeding, 9: 67-75 (In Persian).
12. Jafari, T. and E. Farshadfar. 2018. Stability analysis of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) by GGE biplot. Cereal Research, 8(2): 1-13 (In Persian).
13. Jahromi, M.A., M. Khodarahmi, A.R. Mohammadi and A. Mohammadi. 2011. Stability analysis for grain yield of promising durum wheat genotypes in southern warm and dry agro-climatic zone of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 13: 565-579 (In Persian).
14. Karimizadeh, R., A. Asghari, R. Chinipardaz, O. Sofalian and A. Ghaffari. 2016. Application of GGE biplot analysis to evaluate grain yield stability of rainfed spring durum wheat genotypes and test locations by climatic factors in Iran. Crop Breeding Journal, 4(1): 41-49.
15. Karimizadeh, R., M. Mohammadi, M.M. Sheikh, V. Bavi, T. Hosseinpour, H. Khanzadeh, H. Ghojogh and M. Armioun. 2011. [Application of multi-variate methods in determining grain yield stability of of durum wheat genotypes in semi-warm dry land areas of Iran. Modern Genetics Journal,](javascript:void(0)) 6: 33-48 (In Persian).
16. Karimizadeh, R., M. Mohammadi, N. Sabaghni, A.A. Mahmoodi, B. Roustami and F. Seyyedi. 2013. GGE biplot analysis of yield stability in multi-environment trials of lentil genotypes under rainfed condition. Not Sci Biol 5:256-262.
17. Kaya, Y. and M. Turkoz. 2016. Evaluation of genotype by environment interaction for grain yield in durum wheat using non-parametric stability statistics. Turkish Journal of Field Crops, 21(1): 51-59.
18. Kaya, Y., M. Akcura and S. Taner. 2006. GGE-biplot analysis of Multi-Environment yield trials in bread wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30: 325-337.
19. Kearsey, M.J. and H.S. Pooni. 1996. The genetical analysis of quantitative traits. Chapman and Hall, London.
20. Kroonenberg, P.M. 1995. Introduction to biplots for GE tables. Department of Mathematics, Research Report 51. Australia: Univ. of Queensland. 22 p.
21. Laffont, J.L., M. Hanafi and K. Wright. 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. Crop Science 47: 990-996. doi:10.2135/cropsci2006.08.0549.
22. Mendiburu. F. 2019. Agricolae tutorial. <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu>.
23. Mohammadi, M., R. Karimizadeh, T. Hosseinpour, H. Ghojogh, K. Shahbazi and P. Sharifi. 2017. Use of parametric and non-parametric methods for genotype × environment interaction analysis in bread wheat genotypes. Plant Genetic Researches, 4(2): 75-88 (In Persian).
24. Mohammadi, R., A. Abdullahi, R. Haghparast, M. Aghaee and M. Rostaii. 2007. Nonparametric methods for evaluating of winter wheat genotypes in multi-environment trials. World Journal of Agricultural Sciences, 3(2): 137-242.
25. Mohammadi, R., M. Armion, B. Sadeghzadeh, S. Golkari, Gh. Khalilzadeh, H. Ahmadi, Gh. Abedi-Asl and M. Eskandari. 2016. Assessment of grain yield s tability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. Applied Field Crops Research, 29(4): 25-42 (In Persian).
26. Mohammadi, R., M. Armion, D. Sadeghzadeh, A. Amri and M. Nachit. 2011. Analysis of Genotype-by-Environment Interaction for Agronomic Traits of Durum Wheat in Iran. Plant Production Science, 14(1): 15-21.
27. Mohammadi, R., M. Armion, E. Zadhassan and M. Eskandari. 2014. Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in rainfed durum wheat. Iranian Journal of Dryland Agriculture, 1(4): 1-16 (In Persian).
28. Mohammadi, R., R. Haghparast, A. Amri and S. Ceccarelli. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. Crop and Pasture Science, 61: 92–101.
29. Najafi Mirak, T., M. Dastfal, B. Andarzian, H. Farzadi, M. Bahari and H. Zali. 2019. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE biplot. Journal of Crop Breeding, 10(28): 1-12 (In Persian).
30. Najafi Mirak, T., M. Dastfal, B. Andarzian, H. Farzadi, M. Bahari and H. Zali. 2018. Assessment of non-parametric methods in selection of stable genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). Iranian Journal of Crop Sciences, 19(2): 126-138 (In Persian).
31. Rakshit, S., K.N. Ganapathy, S.S. Gomashe, A. Rathore, R.B. Ghorade, M.V.G. Kumar, K. Ganesmurthy, S.K. Jain, M.Y. Kamtar, J.S. Sachan, S.S. Ambekar, B.R. Ranwa, DG. Kanawade, M. Balusamy, D. Kadam, A. Sarkar, V.A. Tonapi, J.V. Patil. 2012 GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data. Euphytica, 185: 465-479.
32. Sadeghzadeh, B., R. Mohammadi, H. Ahmadi, G.R. Abedias, M.M. Ahmadi, M. Mohammadfam, N. Bahrami, M.S. Khaledian and A.A. Naserian. 2018. [GGE biplot and AMMI application in the study of adaptability and grain yield stability of durum lines under dryland conditions](http://escs.birjand.ac.ir/article_719_en.html). Environmental Stresses in Crop Sciences, 11(2): 241-260 (In Persian).
33. Samonte, S.O.P.B., L.T. Wilson, A.M. McClung and J.C. Medley. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. Crop Science, 45: 2414-2424.
34. Sharifi, P., H. Aminpanah, R. Erfani, A. Mohaddesi and A. Abbasian. 2017. Evaluation of Genotype×Environment Interaction in Rice Based on AMMI model in Iran. Rice science, 24(3): 173-180.
35. Singh, C., A. Gupta, V. Gupta, P. Kumar, R. Sendhil, B.S. Tyagi, G. Singh, R. Chatrath and G.P. Singh. 2019. Genotype x environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 19(3): 309-318.
36. Trethowan, R. and M. Reynolds. 2007. Drought resistance: genetic approaches for improving productivity under stress, In: R. M. Trethowan and M. Reynolds, (eds.) Wheat Production in Stressed Environments, 289-299. Springer Pub., The Netherlands.
37. Wright, K. and J.L. Laffont. 2018. Package ‘gge’. <https://github.com/kwstat/gge/issues>.
38. Yan, W. 2019. LG biplot: a graphical method for mega-environment investigation using existing crop variety trial data. Scientific Reports, 9: 7130: 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43683-9>.
39. Yan, [W. and](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Yan+W&cauthor_id=11756248) [I. Rajcan](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=Rajcan+I&cauthor_id=11756248). 2002. Biplot Analysis of Test Sites and Trait Relations of Soybean in Ontario. Crop Science, 42(1):11-20. doi: 10.2135/cropsci2002.1100.
40. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, Geneticists and Agronomists. 1st Edn, CRC Press LLC., Boca Raton, Florida, pp: 271.
41. Yan, W. and N.A. Tinker. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. Canadian Journal of Plant Scince, 86: 623-645.
42. Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheny and Z. Szlavnics. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science, 40: 597-605.
43. Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Wood and P.L. Cornelious. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. Crop Science, 47: 643-655.

**Stability Analysis of Durum Wheat Genotypes by GGE Biplot Method**

**Rahmatollah Karimizadeh1, Tahmasb Hosseinpour 2, Jabar Alt Jafarby3, Kamal Shahbazi Homonlo4, Mohammad Armion5 and Peyman Sharifi6**

1- Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran

2- Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran

3- Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran

4- Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Moghan, Iran

5- Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran

6- Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran,(Corresponding author: [sharifi@iaurasht.ac.ir](mailto:sharifi@iaurasht.ac.ir))

Received: June 2, 2020 Accepted: August 17, 2020

**Extended Abstract**

**Introduction:** Nineteen durum wheat lines selected from preliminary yield trial along with Dehdasht as a control cultivar, were evaluated in a randomized complete block design with three replications at five regions in Iran including Gachsaran, Gonbad, Khoramabad, Moghan and Ilam during three cropping seasons of 2012-2015.

**Materials and methods:** Nineteen durum wheat lines selected from preliminary yield trial along with Dehdasht as a control cultivar, were evaluated in a randomized complete block design with three replications at five regions in Iran including Gachsaran, Gonbad, Khoramabad, Moghan and Ilam during three cropping seasons of 2012-2015.

**Results:** Combined analysis of variance indicated significant effects of year, location, genotype and year × location, year × genptype and year × location × genotype interactions on durum wheat grain yield. Screet test indicated the first foure principal components had high contribution of geenotype × environmentinteractions (GEI), so that the PC1 and PC2 was explained 22.0% and 18.71% of GEI variation. Mosaic plot revealed that 11.54% of total variation is illustrated by genotype and 88.46% by GEI effects. Heatmap plot was also indicated G16, G19 and G20 had high grain yield in many of environments. The polygon view of biplot indicated G8, G7, G20 and G13 were as stable genotypes to the tested environments according to the closest distance to biplot origin, while G18, G15 and G11 was not adaptable to any of environments. The simultaneous studying of the effects of genotype (G) and genotype-environment interactions (G×E) by average tester coordinate (ATC) view of biplot illustrated that G2, G7, G1 and G20, in addition to high grain yield, are also more stable to the tested environments than the other genotypes, and can be proposed as stable genotypes. G1 and G2 are placed close to the ideal genotype, are most desirable than the other genotypes. The vector view of GGE biplot indicated discriminating and representative environments (E5 and E3) are good environments for selecting generally adapted genotypes.

**Conclusion:** Consequently, G7, G8, G20 and G13 with strong stability and high grain yield can be used in selection/ recommendation process of cultivar.

**Keywords:** Genetic Divergence, Genotypes × Environment, Ideal Genotypes, Mosaic Plot,  
 Heatmap Plot