دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

ارزیابی عملکرد و پایداری عملکرد ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم در مناطق گرم و خشک با استفاده از مدل AMMI و GGE بای‌پلات

توحید نجفی میرک[۱]، منوچهر دستفال[۲]، بهرام اندرزیان[۳]، حسین فرزادی[۴]، محمد بهاری[۵] و حسن زالی[۶]

۱- مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران
۳- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
۴- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر،مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران
۵- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
۶- بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، ایران
(نویسنده مسوول: Hzali90@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۱

چکیده

به‌منظور دستیابی به ژنوتیپ‌های پرمحصول و سازگار گندم دوروم برای مناطق گرم و خشک کشور، آزمایشی با ۱۸ لاین امیدبخش به‌همراه دو شاهد شامل یک رقم شاهد گندم دوروم بهرنگ و یک رقم شاهد گندم نان چمران در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب، اهواز، خرم‌آباد و دزفول در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو سال (۹۵-۱۳۹۳) در شرایط آبیاری نرمال مورد ارزیابی قرار گرفتند. در هر منطقه عملکرد دانه و صفات زراعی لاین‌ها یادداشت‌برداری شد. نتایج مدل AMMI نشان داد دو مؤلفه اصلی مدل AMMI معنی‌دار بودند و ۸۵/۱۷ درصد تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ در محیط را توجیه نمودند. هم‌چنین مدل AMMI (AMMI1 و AMMI2) نشان داد که لاین‌های شماره‌ی G5 (DW-93-5)، G10 (DW-93-10) و G12 (DW-93-12) به‌علت داشتن میانگین عملکرد بالاتراز میانگین کل، می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری بیش‌ترانتخاب شوند. بررسی بای‌پلات چند ضلعی منجر به شناسایی لاین‌های برتر (لاین‌های شماره‌ی G5 (DW-93-5)، G9 (DW-93-9)، G13 (DW-93-13)، G16 (DW-93-16) و G17 (DW-93-17)) و دو محیط بزرگ شده و ژنوتیپ‌های مناسب در هر محیط بزرگ نیز مشخص گردید. بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای پلات مختصات محیط متوسط نیز نشان داد که لاین شماره‌ی G5 (DW-93-5) با بیش‌ترین عملکرد و پایداری یکی از پایدارترین لاین‌ها بود. بررسی بای‌پلات همبستگی بین مناطق نشان داد که بردارهای محیطی منطقه خرم‌آباد با سه منطقه داراب، دزفول و اهواز دارای زاویه نزدیک به ۹۰ درجه بوده که بیانگر عدم تشابه خرم‌آباد با این مناطق بود. در مجموع خرم‌آباد، دزفول و داراب دارای تمایز بالایی بوده و توانستند تفاوت‌های بین لاین‌ها را به‌خوبی نشان دهند. در نهایت لاین‌های شماره‌ی G5 (DW-93-5) و G10 (DW-93-10) با داشتن عملکرد بالا و پایداری عمومی بالا، مقاومت نسبت به بیماری‌های مهم برگی و کیفیت دانه مناسب، به‌عنوان لاین‌های برتر برای مطالعات تکمیلی و انتخاب مناسب‌تر بودند.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، سازگاری، روش‌های چند متغیره، گندم دوروم

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) یکی از محصولات مهم زراعی و صنعتی است. خصوصیات گلوتن سنگین و خمیر غیرچسبنده و سنگین، این نوع گندم را برای تهیه محصولات پاستا از جمله ماکارانی و اسپاگتی ایده آل نموده است (۴). گندم دوروم بخش کوچکی معادل ۵ درصد از سطح زیر کشت گندم دنیا و حدود ۱۰ درصد کل تولید گندم را شامل می‌شود. تولید گندم دوروم در سال‌های اخیر حدود ۳۰ میلیون تن بوده که ۶۰ درصد تولید آن مربوط به اتحادیه اروپا، کانادا و ایالات متحده است. گندم دوروم یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در منطقه ساوانا (CWANA)[1] یعنی مرکز و غرب آسیا و شمال آفریقا می باشد. منطقه ساوانا سالانه حدود ۱۳ میلیون تن گندم دوروم تولید می‌کند که کشورهای ترکیه، سوریه، مراکش، تونس، الجزایر و ایران ۸۴ درصد این میزان را تولید می‌کنند (۱۲). بیش‌تر کشورهای منطقه ساوانا جزء شبکه واردکننده گندم دوروم هستند. در این منطقه تنها سوریه صادرکننده گندم دوروم و ایران پتانسیل بالایی برای تولید گندم دوروم دارد. در ایران سطح زیر کشت گندم دوروم بین ۴۰۰-۳۰۰ هزار هکتار بوده و میزان تولید سالانه آن بین ۶۰۰-۵۰۰ هزار تن می‌باشد (۱۳). با توجه به اهمیتی که گندم دوروم در صنعت و تغذیه دارد، تولید و اصلاح ارقام جدید و پر محصول با ویژگی‌های مهمی مانند پایداری عملکرد ضروری است. در همین راستا تولید ارقام پرمحصول که دارای ویژگی‌های مناسبی برای کشت در مناطق مختلف کشور باشند از اهداف مهم برنامه‌های به‌نژادی این محصول است (۲). زمانی که ارقام در شرایط مختلف محیطی مورد مقایسه قرار می‌گیرند، عملکرد آن‌ها نسبت به یک‌دیگر ممکن است یکسان نباشد. تغییرات در عملکرد نسبی ارقام در طیفی از شرایط محیطی مختلف به اثرات ژنوتیپ در محیط نسبت داده می‌شود (۱۰). اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات است که در توسعه و گسترش واریته‌های اصلاح شده دارای اهمیت فراوان است. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان‌دهنده حساسیت متفاوت ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی است. بدین معنی که، بهترین ژنوتیپ در یک محیط لزوماً بهترین ژنوتیپ در محیط دیگر نیست (۸). به‌علت وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط، ارزیابی ارقام جدید در محیط‌های مختلف توسط به‌نژادگران یک ضرورت محسوب می‌شود. از آنجائی‌که

1- Central and west Asia and north Africa

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]

تجزیه و تحلیل روش‌های معمول مثل استفاده از جدول‌های تجزیه مرکب فقط اطلاعاتی در مورد اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به دست می‌دهد، محققین معیارهای متفاوتی را جهت تشخیص پایداری ارقام و معرفی آن‌ها و بررسی اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به کار برده‌اند (۲۸). به‌طور کلی روش‌های تجزیه پایداری به روش‌های تک متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند (۳۰). در روش‌های تک متغیره سعی می‌شود که پاسخ ژنوتیپ به محیط از طریق محاسبه یک شاخص پایداری توجیه شود. لذا، ممکن است یک ژنوتیپ در یک ارزیابی پایدار و در روش دیگر ناپایدار شناخته شود و نتیجه مشابهی به‌دست نیاید. اما در تجزیه‌های چند متغیره مانند تجزیه AMMI[1] (۹)، پاسخ و واکنش یک ژنوتیپ در چند محیط مختلف ممکن است در یک فضای چندبعدی توصیف شود و لذا این روش‌ها می‌توانند تفسیر آزمایش‌های یکنواخت سراسری عملکرد را ساده‌تر کنند و ارتباط پیچیده و مرکب بین مکان‌ها، ژنوتیپ‌ها و یا بین هر دو را به دقت توسط یک دیاگرام پراکنش توضیح دهند.استفاده از مدل AMMI برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در گیاهان مختلف از جمله برنج (۳،۲۰)، لوبیا (۲۲)، نخود زراعی (۲۹)، گندم نان (۱۸،۱۹) و گندم دوروم (۱،۱۱) گزارش شده است. آقایی سربرزه و همکاران (۱) به منظور دستیابی به ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار گندم دوروم در ۶ منطقه گرمسیر از مدل AMMI استفاده کردند. نتایج حاصله با رسم بای‌پلات با مدل AMMI نشان داد که لاین‌های شماره‌ی ۱۸ (DW-87-18) و ۲۰ (DW-87-20) با کم‌ترین اثر متقابل به‌عنوان پایدارترین شناخته شدند. هم‌چنین برای هر یک از محیط‌های مورد بررسی نیز ژنوتیپ‌های مناسب شناسائی نمودند. محمدی و امری (۱۱) بیان نمودند که پارامتر ارزش پایداری AMMI، مفهوم استاتیکی پایداری را بیان می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که با این روش معرفی می‌شوند ممکن است از عملکرد متوسط برخوردار باشند. از طرفی این روش ژنوتیپ‌های ایده‌آل برای محیط‌های نامساعد را شناسایی می‌کند. روش GGE (ژنوتیپ + ژنوتیپ × محیط) بای‌پلات یکی از روش‌های نوین در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده که در آن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از هم تفکیک نشده و گزینش رقم‌های پایدار براساس هر دو اثر مذکور صورت می‌گیرد (۲۵). آن‌چه که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حائز اهمیّت است، این می‌باشد که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست. لذا، حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE) حائز اهمیت است (۲۶). تنها اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط است که در گزینش لاین‌های پایدار اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط می‌بایست به‌صورت توأم بررسی شوند. روش GGE بای‌پلات این امکان را می‌دهد که این دو اثر (ژنوتیپ و ژنوتیپ × محیط) هم‌زمان و به‌صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند (۲۳). تغییر در رتبه ارقام در پاسخ به شرایط محیطی (اثر متقابل کراس‌اور) و تغییر در مقدار پاسخ به شرایط محیطی بدون تغییر در رتبه (اثر متقابل غیرکراس‌اور) دو جزء مهم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط محسوب می‌شوند که پی بردن به نوع هر کدام از آن‌ها در مجموع مربعات اثر متقابل می‌تواند سهم بسزایی در طرح‌ریزی استراتژی به‌نژادی داشته باشد. اثر متقابل کراس‌اور پیچیده‌ترین تیپ اثر متقابل در گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها در یک برنامه به‌نژادی است (۱۶). محدودیت مدل AMMI این است که نمی‌تواند بین اثرات متقابل کراس‌اور (تغییر رتبه واریته‌ها در محیط‌های مختلف) و غیرکراس‌اور را از یک‌دیگر تمیز دهد. تجزیه رگرسیون سایت می‌تواند اثرات متقابل کراس‌اور را از غیرکراس‌اور تمیز دهد. در واقع برای تعیین اثر متقابل کراس‌اور بایستی هم اثر ژنوتیپ (عملکرد) و هم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مورد توجه قرار گیرند. این مطلب دلالت دارد بر این‌که تحقیق پیرامون اثر متقابل ژنوتیپ × محیط وقتی اهمیت بیش‌تری دارد که در ارتباط با اثر ژنوتیپ مورد توجه قرار گیرد (۲۷). محققان زیادی روش GGE بای‌پلات را روشی کارا برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معرفی نموده‌اند و بیان داشته‌اند که این روش اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها و محیط‌های تحت بررسی در اختیار محقق قرار می‌دهد (۶،۱۶،۱۷،۲۸) هدف از این تحقیق، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از طریق روش‌های چند متغیره AMMI و روش گرافیکی GGE بای‌پلات در لاین‌های امیدبخش گندم دوروم و شناسایی و معرفی لاین‌های دارای عملکرد اقتصادی و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های گرم و خشک و شناسایی مناطق مطلوب بود.

مواد و روش‌ها

هجده لاین امیدبخش گندم دوروم، که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته گندم دوروم اقلیم گرم و خشک جنوب کشور در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به‌همراه رقم شاهد گندم دوروم بهرنگ و رقم شاهد گندم نان تجاری چمران در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب، اهواز، خرم‌آباد و دزفول در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو سال (۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴) مورد ارزیابی قرار گرفتند. زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات-آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم بعد از برداشت محصول قبل، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود بر هم، کودپاشی و ایجاد جوی و پشته بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. میزان بذر مصرفی ۴۵۰ دانه در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین گردید. ارقام و لاین‌های مورد بررسی در اواخر آذر در شش خط به‌طول شش متر (۷/۲ مترمربع) به‌فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم‌دیگر به‌صورت جوی و پشته کشت و به‌صورت نشتی آبیاری شدند. هم‌چنین قبل از برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و بقیه (۶ مترمربع) برداشت شد. در طول فصل زراعی، کلیه عملیات زراعی انجام شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و

1- The additive main effect and multiplication interaction

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]

نازک‌برگ به‌صورت مکانیکی و در صورت نیاز با استفاده از علف‌کش‌های پوماسوپر و گرانستار به‌ترتیب به‌مقدار یک لیتر و ۲۰ گرم در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن استفاده شد. در طول دوره رشد علاوه بر مراقبت‌های زراعی، یادداشت‌برداری از کرت‌های آزمایشی به‌عمل آمد که مهم‌ترین آن‌ها شامل تعداد روز از زمان اولین آبیاری تا ۵۰ درصد ظهور سنبله، تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدن فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته، درصد خوابیدگی، واکنش به بیماری زنگ و سایر بیماری‌های برگی دیگر، رنگ دانه، وزن هزار دانه و وجود لکه آردی است. بررسی پایداری عملکرد ارقام و لاین‌ها با استفاده از روش‌های چند متغیره AMMI و GGE بای‌پلات انجام شد. در مدل AMMI تجزیه واریانس و مؤلفه‌های اصلی در یک تجزیه واحد ترکیب می‌شوند. مدل تجزیه AMMI به‌صورت زیر است:

$$Y_{ger} = \mu + \sigma_g + \beta_e + \sum \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ger}$$

در مدل AMMI بخش جمع‌پذیر از تجزیه واریانس معمولی بدست می‌آید. در فرمول بالا Y_{ger} عملکرد ژنوتیپ gام در محیط eام و تکرار rام، μ میانگین کل، σ_g اثر اصلی ژنوتیپ (اختلاف میانگین یک ژنوتیپ از میانگین ژنوتیپ‌ها)، β_e اثر اصلی محیط (اختلاف میانگین یک محیط از میانگین محیط‌ها) است. قسمت ضرب‌پذیر مدلAMMI از مؤلفه‌های اصلی به‌منظور تجزیه اثر متقابل به یک تا N محور مؤلفه اصلی استفاده می‌کند. λ_n یک مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی nام، که برابر با مقدار ویژه[1] مربوط به همان مؤلفه اصلی است. N تعداد محورهای PCA[2] باقیمانده در مدل AMMI می‌باشد. γ_{gn} بردار ویژه[3] ژنوتیپ gام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل[4] (IPCA) و δ_{en} بردار ویژه محیط eام از n مؤلفه اصلی اثر متقابل، ρ_{ge} جزء مربوط به باقی‌مانده (نویز)[5] و ε_{ger} جزء مربوط به خطا (درصورتی که آزمایش تکرار داشته باشد) است (۹،۱۰). روش GGE بای‌پلات، اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GE) را با هم حفظ می‌کند و GGE را به دو جزء ضربی تجزیه می‌کند. مدل استفاده شده در GGE بای‌پلات به‌صورت زیر است:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{i1}e_{1j} + g_{i2}e_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

که در آن g_{i1} و e_{1j} را نمرات اولیه برای ژنوتیپ i و محیط j گویند، g_{i2} و e_{2j} را نمرات ثانویه برای ژنوتیپ i و محیط j می‌نامند و ε_{ij} باقی‌مانده‌ای است که به‌وسیله اثرات اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. یک بای‌پلات GGE با رسم g_{i1} در مقابل g_{i2} و e_{1j} در مقابل e_{2j} در یک نمودار پراکنش، رسم می‌شود. نمرات اولیه از طریق تجزیه به مقادیر منفرد (SVD)[6] تجزیه می‌شوند که معادله به‌صورت زیر تبدیل می‌شود:

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

در این معادله λ_1 و λ_2 به‌ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC1 و PC2)، ξ_{i1} و ξ_{i2} به‌ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ iام برای PC1 و PC2 و η_{1j} و η_{2j} به‌ترتیب بردارهای ویژه محیط jام برای PC1 و PC2 می‌باشد (۲۵). به‌منظور رسم نمودارهای GGE بای‌پلات، تجزیه AMMI و تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزار Genestat V15 استفاده شد و برای رسم بای‌پلات‌های مدل AMMI از نرم‌افزار Statistica استفاده شد.

جدول ۱- اسامی/ شجره ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Name/pedigree of durum wheat cultivars and promising lines used in the experiment

شماره لاین‌ها	کد لاین‌ها	شجره لاین‌ها
G1	DW-93-1	Behrang (*T.durum*)
G2	DW-93-2	Chamran (*T.aestivum*)
G3	DW-93-3	JUPARE C 2001
G4	DW-93-4	CIRNO C 2008
G5	DW-93-5	CBC 509 CHILE/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/7/AJAIA_12/F3LOCAL (SEL.ETHIO.135.85) //PLATA_13/8/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3
G6	DW-93-6	GUAYACAN INIA/POMA_2//SNITAN/4/D86135/ACO89//PORRON_4/3/SNITAN
G7	DW-93-7	NUS/SULA//5*NUS/4/SULA/RBCE_2/3/HUI//CIT71/CII*2/5/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G8	DW-93-8	JUPARE C 2001
G9	DW-93-9	TADIZ/9/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9
G10	DW-93-10	ALBIA_1/ALTAR 84//YAZI_1/4/CREX//BOY/YAV_1/3/PLATA_6/5/SOMAT_4/INTER_8/6/LIRO_2/CANELO_9
G11	DW-93-11	1A.1D 5+10-6/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G12	DW-93-12	USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/9/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN
G13	DW-93-13	ARMENT//2*SOOTY_9/RASCON_37/4/CNDO/PRIMADUR//HAI-OU_17/3/SNITAN
G14	DW-93-14	DUKEM_1//SORA/2*PLATA_12/3/SOMAT_4/INTER_8
G15	DW-93-15	STOT//ALTAR 84/ALD/3/PATKA_7/YAZI_1/4/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/5/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3
G16	DW-93-16	GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/ADAMAR
G17	DW-93-17	SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM
G18	DW-93-18	CMH77.774/CORM//SOOTY_9/RASCON_37/3/SOMAT_4/INTER_8
G19	DW-93-19	PLATA_7/ILBOR_1//SOMAT_3/3/CABECA_2/PATKA_4//ZHONG ZUO/2*GREEN_3
G20	DW-93-20	SOMAT_4/INTER_8/5/NUS/SULA//5*NUS/4/SULA/RBCE_2/3/HUI//CIT71/CII/10/USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9/9/NUS/SULA//5*NUS/4/SULA/RBCE_2/3/HUI//CIT71/CII

1- Eigen value
2- Principal component analysis
3- Eigen vector
4- Interaction principal component analysis
5- Noise
6- Singular valued composition

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس با استفاده از مدل AMMI، اختلاف معنی‌داری را برای اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط نشان داد. معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در سطح ۵ درصد نشان داد که ارقام و لاین‌ها در مکان‌های مختلف عملکرد متفاوتی داشتند. لذا لازم است با استفاده از روش‌های آماری، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط تجزیه شود تا بتوان لاین‌های پایدار را معرفی کرد. به‌منظور تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس باقی‌مانده صورت گرفت که دو مؤلفه‌ی اصلی اثر متقابل به‌ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بودند. اولین مؤلفه‌ی اصلی (IPC1) ۵۰/۲۲ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به‌خود اختصاص داده و این مقدار برای دومین مؤلفه (IPC2) برابر با ۳۴/۹۵ درصد بود. مؤلفه اصلی باقی مانده (نویز) در مدل تنها ۱۴/۸۳ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه نمود. در کل، مدل AMMI با دو مؤلفه‌ی اصلی (AMMI2)، ۸۵/۱۷ درصد از تغییرات اثر متقابل را توجیه کرد (جدول ۲). مدل AMMI دارای آماره‌های مختلفی است که برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و این آماره‌ها همبستگی بالایی با هم دارند (۲۹). به‌همین دلیل تنها از دو آماره SIPC1 (۲۱) و ارزش پایداری AMMI (۱۵) استفاده شد. بر مبنای آماره SIPC1 که از قدر مطلق اولین مؤلفه اصلی مدل بدست می‌آید به‌ترتیب لاین‌های شماره‌ی G11، G5، G10، G14 و G12 جزء پایدارترین لاین‌ها از نظر پایداری عملکرد دانه بودند و لاین‌های شماره‌ی G5، G10 و G12 به‌علت بالا بودن عملکرد دانه نسبت به متوسط کل به‌عنوان لاین‌هایی با عملکرد بالا و پایدار انتخاب شدند (جدول ۳). با توجه به آماره ASV که براساس دو مؤلفه اصلی اول محاسبه شده است به‌ترتیب لاین‌های شماره‌ی G10، G14، G20، G11 و G12 با کم‌ترین مقدار ASV جزء ژنوتیپ‌های پایدار از نظر عملکرد دانه بودند و در بین آن‌ها لاین‌های شماره‌ی G10 و G12 به‌علت بالا بودن عملکرد دانه نسبت به متوسط کل به‌عنوان لاین‌هایی با عملکرد بالا و پایدار انتخاب شدند (جدول ۳). در مجموع لاین‌های شماره‌ی G10 و G12 در هر دو روش (SIPC1 و ASV) جزء لاین‌های پایدار بودند. از طرفی لاین G5 هرچند در روش ASV جزء لاین‌های پایدار نبود، اما براساس روش SIPC1 یکی از پایدارترین لاین‌ها با عملکرد بالا بود. مقوله پایداری شامل دو بخش پایداری پویا (زراعی) و پایداری ایستا (آماری) است (۱۵). به‌نظر می‌رسد آماره‌های مدل AMMI بیش‌تر از مفهوم پایداری ایستا بهره می‌برند و ژنوتیپ‌های انتخاب شده با این آماره‌ها ممکن است از عملکرد بالایی برخوردار نباشند.در بای‌پلات شکل ۱، محور افقی نمایانگر اثرات اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار و محور عمودی اثرات متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی (IPC1) یعنی ضرایب عاملی، است. در بای‌پلات مذکور دو سری از داده‌ها بر روی محورها نمایش داده شده‌اند. اولین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر ژنوتیپ (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی هر ژنوتیپ (محور عمودی) و دومین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر محیط (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی هر محیط (محور عمودی) است. باید توجه داشت که ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که دارای مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی بزرگ (مثبت یا منفی) باشند اثر متقابل بالا دارند، در حالی‌که ژنوتیپ‌ها ومحیط‌های واجد مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل پایین می‌باشند. از طرفی ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای اولین مؤلفه‌ی اصلی با علامت یکسان، اثرات متقابل مثبت ایجاد می‌کنند، در حالی‌که ترکیب مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی با علامت‌های مخالف، واکنش اثر متقابل منفی را ایجاد می‌نمایند. بررسی بای‌پلات شکل ۱ نشان داد که لاین‌های شماری‌G9، G13، G6، G15، G3، G16، G11، G18 و G8 و مناطق خرم‌آباد و داراب دارای اثرمتقابل بزرگ بودند. به‌عبارت دیگر این مناطق بیشترین تأثیر را در اثر متقابل داشتند. باید توجه داشت که محیط‌هایی ایده‌آل می‌باشند که دارای اثر متقابل بزرگ باشند چون در این محیط‌ها تفاوت ارقام بهتر مشخص می‌شود. ولی در مورد ارقام هرچه اثرمتقابل کم‌تر باشد یعنی ژنوتیپ مورد نظر کم‌تر تحت تأثیر محیط بوده و پایداری عملکرد بیش‌تری دارد. لاین‌هایی که درمرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند، اثر متقابل نزدیک به صفر دارند بنابراین دارای پایداری عمومی هستند، لاین‌های شماره‌ی‌G11، G5، G10، G14 و G12 دارای اثر متقابل کوچک بودند ولی لاین‌های شماره‌ی G5 (DW-93-5)، G10 (DW-93-10) و G12 (DW-93-12) به‌علت داشتن میانگین عملکرد بالاتراز میانگین کل می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری خوب مورد توجه قرار گیرند (شکل ۱). باید توجه داشت که نتایج این بای‌پلات با آماره SIPC1 انطباق داشت.

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه لاین‌های امید بخش گندم دوروم در مناطق داراب، دزفول، اهواز و خرم‌آباد با استفاده از مدل AMMI
Table 2. Seed yield variance analysis of durum wheat promising lines in Darab, Dezful, Ahvaz and horamabad using AMMI model

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درصد توجیه SS
تیمار	۷۹	۲۰۸۲۹۶۵۱**	
ژنوتیپ	۱۹	۱۳۷۰۲۴۵**	
محیط	۳	۵۲۶۶۴۳۲۲۶**	
ژنوتیپ × محیط	۵۷	۶۹۴۳۵۳*	
مؤلفه اصلی اول	۲۱	۹۴۶۳۹۷**	۵۰/۲۲
مؤلفه اصلی دوم	۱۹	۷۲۸۰۸۳*	۳۴/۹۵
باقی‌مانده	۱۷	۳۴۵۳۰۷	۱۴/۸۳
خطای ادغام شده	۴۰۰	۱۰۴۲۶۵۳	

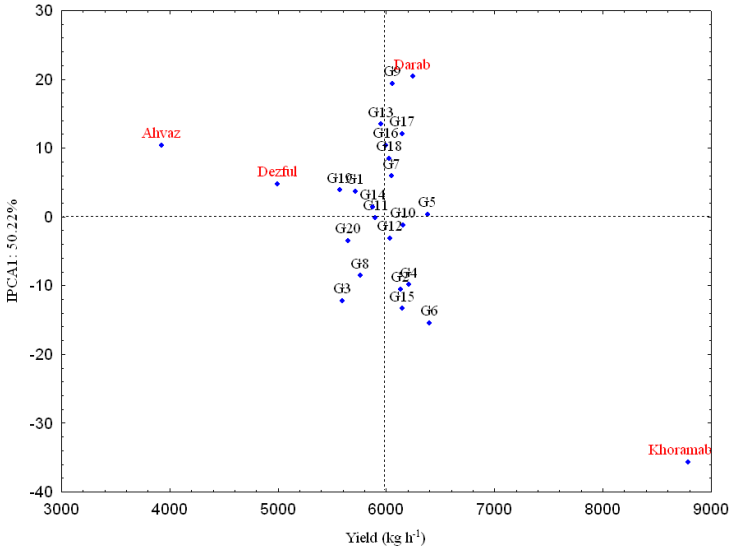
* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

جدول ۳- میانگین عملکرد لاین‌ها و مناطق مورد بررسی، مقادیر دو مؤلفه اصلی اثرمتقابل و آماره‌های پایداری ASV و SIPC1 و رتبه آن‌ها
Table 3. Yield mean of lines and locations, value of first two main components of interaction and stability statistics of ASV and SIPC1 and its rank

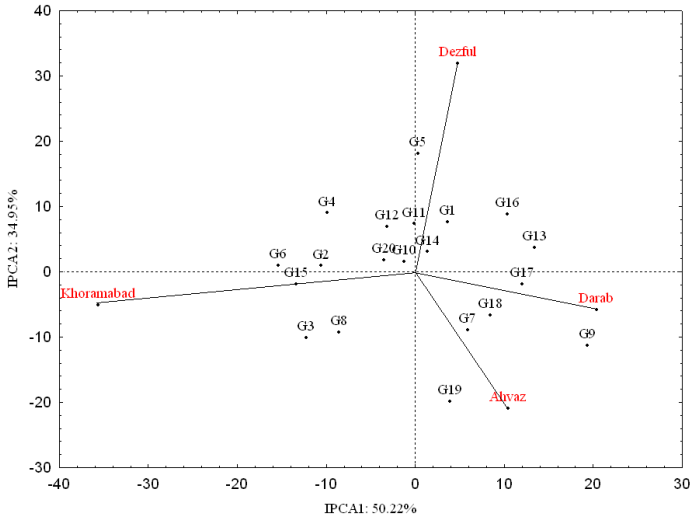
کد لاین‌ها و ارقام	شماره‌ی لاین‌ها	عملکرد ($kg\ h^{-1}$)	IPCA1	IPCA2	ASV	رتبه	SIPC1	رتبه
DW-93-1	G1	۵۷۱۴/۱	۳/۶۸۵	۷/۶۴۹	۹/۳۰	۶	۳/۶۸۵	۷
DW-93-2	G2	۶۱۳۲/۴	−۱۰/۵۸۱	۰/۸۹۹	۱۵/۲۳	۹	۱۰/۵۸۱	۱۴
DW-93-3	G3	۵۵۹۴/۵	−۱۲/۲۶۶	−۱۰/۰۶۷	۲۰/۳۰	۱۷	۱۲/۲۶۶	۱۶
DW-93-4	G4	۶۲۰۹/۴	−۹/۸۸۹	۸/۹۹۳	۱۶/۸۱	۱۱	۹/۸۸۹	۱۲
DW-93-5	G5	۶۳۸۱/۴	۰/۳۰۹	۱۸/۱۰۳	۱۸/۱۱	۱۴	۰/۳۰۹	۲
DW-93-6	G6	۶۴۰۲/۱	−۱۵/۴۱۹	۰/۹۵۸	۲۲/۱۷	۱۹	۱۵/۴۱۹	۱۹
DW-93-7	G7	۶۰۵۳/۶	۵/۹۰۴	−۸/۹۰۹	۱۲/۳۰	۷	۵/۹۰۴	۹
DW-93-8	G8	۵۷۶۰/۹	−۸/۵۶۷	−۹/۳۰۶	۱۵/۴۳	۱۰	۸/۵۶۷	۱۱
DW-93-9	G9	۶۰۵۷/۹	۱۹/۳۸۵	−۱۱/۳۴۰	۳۰/۰۶	۲۰	۱۹/۳۸۵	۲۰
DW-93-10	G10	۶۱۵۹/۵	−۱/۲۱۳	۱/۵۲۲	۲/۳۱	۱	۱/۲۱۳	۳
DW-93-11	G11	۵۹۰۱/۸	−۰/۱۴۰	۷/۴۳۷	۷/۳۴	۴	۰/۱۴۰	۱
DW-93-12	G12	۶۰۳۸/۳	−۳/۱۶۲	۶/۹۰۴	۸/۲۶	۵	۳/۱۶۲	۵
DW-93-13	G13	۵۹۵۱/۹	۱۳/۴۳۳	۳/۷۰۷	۱۹/۶۵	۱۶	۱۳/۴۳۳	۱۸
DW-93-14	G14	۵۸۷۲/۵	۱/۳۷۱	۳/۰۴۸	۳/۶۳	۲	۱/۳۷۱	۴
DW-93-15	G15	۶۱۴۵/۵	−۱۳/۳۷۰	−۱/۸۴۸	۱۹/۳۰	۱۵	۱۳/۳۷۰	۱۷
DW-93-16	G16	۵۹۹۴/۶	۱۰/۳۳۹	۸/۸۰۴	۱۷/۲۷	۱۲	۱۰/۳۳۹	۱۳
DW-93-17	G17	۶۱۴۵/۱	۱۲/۰۷۸	−۱/۸۸۷	۱۷/۴۴	۱۳	۱۲/۰۷۸	۱
DW-93-18	G18	۶۰۲۴/۸	۸/۴۷۹	−۶/۶۷۸	۱۳/۸۹	۸	۸/۴۷۹	۱۰
DW-93-19	G19	۵۵۶۹/۰	−۳/۸۶۷	−۱۹/۸۲۳	۲۰/۵۹	۱۸	۳/۸۶۷	۸
DW-93-20	G20	۵۶۴۵/۴	۳/۴۸۹	۱/۸۳۵	۵/۳۴	۳	۳/۴۸۹	۶
اهواز	Ahvaz	۳۹۲۳	۱۰/۴۲۶	−۲۰/۹۴۵	۲۵/۷۵		۱۰/۴۲۶	
داراب	Darab	۶۲۴۶	۲۰/۳۹۰	−۵/۸۵۲	۲۹/۸۶		۲۰/۳۹۰	
دزفول	Dezful	۴۹۹۳	۴/۸۴۹	۳۱/۹۲۵	۳۲/۶۶		۴/۸۴۹	
خرم‌آباد	Khoramabd	۸۷۸۹	−۳۵/۶۶۵	−۵/۱۲۸	۵۱/۴۹		۳۵/۶۶۵	

شکل ۲ بای‌پلات مؤلفه‌های اصلی اول و دوم اثرمتقابل را برای لاین‌ها و مناطق مورد بررسی نشان می‌دهد (AMMI2). در واقع لاین‌ها و مناطق براساس مقادیر مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نقطه‌یابی شده‌اند. این بای‌پلات ۸۵/۱۷ درصد اطلاعات مربوط به اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کند و سهم مؤلفه‌ی اصلی اول در تفکیک ژنوتیپ‌ها و محیط بیش‌تر (۵۰/۲۲٪) و سهم مؤلفه‌ی اصلی دوم، کم‌تر (۳۴/۹۵٪) بود. با توجه به شکل ۲، لاین‌های شماره‌ی G9، G16، G13، G4، G8 و G3 دارای اثرمتقابل بزرگ و ناپایدار بودند. با توجه به‌این‌که لاین شماره‌ی G19 دارای واکنش اثرمتقابل مشابه با منطقه اهواز بود، بنابراین دارای سازگاری خصوصی با این منطقه بود. هم‌چنین لاین شماره‌ی G9 دارای سازگاری خصوصی با داراب بود. از طرفی لاین شماره‌ی G5 نیز دارای سازگاری خصوصی با دزفول بود. بنابراین لاین‌های G9 و G5 برای کشت در مناطق داراب و دزفول توصیه می‌شوند. لاین‌های شماره‌ی G10، G20، G14، G1، G11 و G12 دارای اثرمتقابل کوچک هستند بنابراین دارای سازگاری عمومی بودند ولی لاین‌های شماره‌ی G10 (DW-93-10) و G12 (DW-93-12) به‌علت داشتن میانگین عملکرد بیشتر از میانگین کل، لاین‌هایی با سازگاری عمومی خوب شناخته شدند.

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]



شکل ۱- نمودار بای‌پلات میانگین لاین‌ها، مناطق و مقادیر اولین مؤلفه اصلی اثرمتقابل (مدل AMMI1)
Figure 1. Biplot of lines, location mean and first two main components of interaction (AMMI1 model)

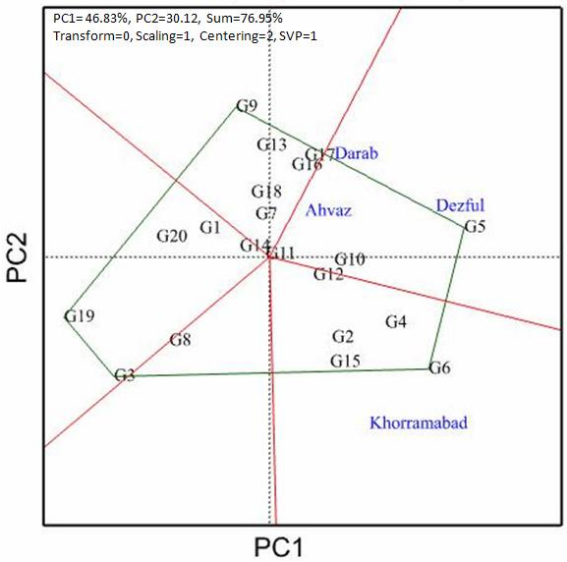


شکل ۲- نمودار بای‌پلات براساس مقادیر دو مؤلفه اصلی اول اثرمتقابل (مدل AMMI2)
Figure 2. Biplot based on value of two main components of interaction (AMMI2 model)

نمایش چند ضلعی اثرات متقابل × محیط در آزمایشات چند محیطی بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثرات‌متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به‌منظور تفسیر موثر بای‌پلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی در یک منطقه می‌باشد (۲۵). بنابراین علاوه بر روش AMMI، از روش GGE بای‌پلات که اثر ژنوتیپ (G) و اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط (GEI) را به‌طور هم‌زمان مورد توجه قرار می‌دهد، استفاده شد. نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۴۶/۸۳ و ۳۰/۱۲ درصد و در مجموع ۷۶/۹۵ درصد کل تغییرات را توجیه کردند که بیانگر معتبر بودن نسبی بای‌پلات در توجیه تغییرات G+GE است (شکل ۳). اگر مجموع مؤلفه‌های اصلی اول و دوم نتوانند اکثر تغییرات موجود را توجیه نماید، بیانگر ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده اما الزاماً به‌معنای غیرمعتبر بودن بای‌پلات نیست (۱۶،۲۷). بررسی نمودار چند ضلعی به‌منظور تعیین لاین‌های برتر در محیط‌های مختلف و مشخص نمودن محیط‌های بزرگ (شکل ۳) نشان داد که لاین‌های شماره‌ی G5، G6، G9، G3 و G18 در رئوس چند ضلعی قرار دارند. این لاین‌ها ممکن است جزء بهترین لاین‌ها یا ضعیف‌ترین لاین در یک یا چند محیط باشند و در ضمن بیش‌ترین فاصله را از مرکز بای‌پلات دارند. با توجه به بای‌پلات شکل ۳، در این بررسی دو محیط بزرگ مشخص گردید. اولین محیط بزرگ شامل مناطق دزفول، اهواز و داراب بود و لاین شماره‌ی G5 رقم برتر در دزفول بود. هم‌چنین لاین شماره‌ی G17 جزء لاین‌های برتر در منطقه داراب بودند. سومین محیط بزرگ خرم‌آباد بود و لاین‌های شماره‌ی

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]

G6، G4، G2 و G15 جزء لاین‌های برتر در این منطقه بودند. این نتایج نشان‌دهنده اثرات‌متقابل کراس‌اوری است که در آن رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت می‌باشد (۲۷). از طرفی قرارگرفتن برخی از محیط‌ها در گروه‌های مشابه نشان می‌دهد که رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های یک گروه خاص تغییرات زیادی ندارد که نشان‌دهنده اثرات متقابل غیرکراس‌اوری است. این نتایج نشان می‌دهد که هر دو نوع اثرمتقابل کراس‌اوری و غیرکراس‌اوری برای عملکرد دانه در آزمایشات چند محیطی گندم دوروم در مناطق گرمسیر ایران وجود دارد. به هر حال ترکیب اثرات متقابل کراس‌اوری و غیرکراس‌اوری رایج است (۵،۱۷). هرچند لاین‌های شماره‌ی G3 و G19 در رأس چند ضلعی قرار داشتند اما هیچ مکانی در اطراف آن‌ها وجود نداشت و این نشان داد که این لاین‌ها در اکثر مناطق مورد بررسی عملکرد ضعیفی از خود نشان داده‌اند. محیط‌های بزرگ دارای دو ویژگی هستند. اول این‌که واریانس بین محیط‌های بزرگ به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر از واریانس درون محیط‌های بزرگ است و دوم این‌که ارقام برتر متفاوتی در محیط‌های بزرگ وجود دارد (۱۰). هم‌چنین لاین‌های شماره‌ی G11 و G14 در مرکز بای‌پلات قرار داشتند. به‌طور کلی ارقامی که در مرکز GGE بای‌پلات قرار می‌گیرند واکنش یکسان به اکثر محیط‌های مورد بررسی نشان می‌دهند و جزء ارقام ضعیف در بیشتر محیط‌ها می‌باشند.

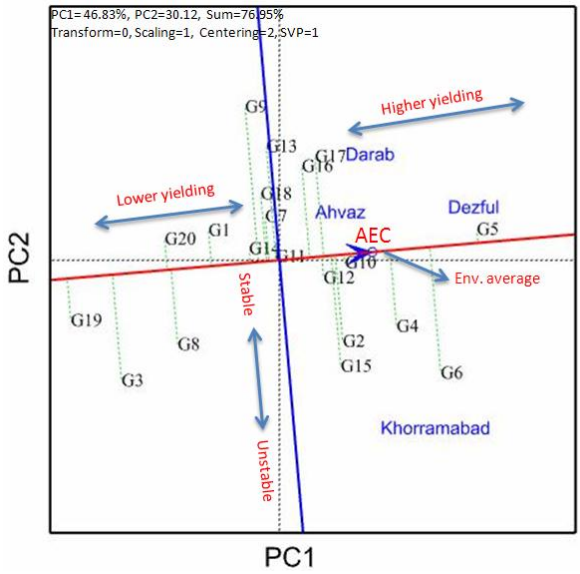


شکل ۳- چند ضلعی GGE بای‌پلات برای تعیین لاین‌های امید بخش گندم دوروم در مناطق داراب، دزفول، اهواز و خرم‌آباد
Figure 3. Polygon of GGE biplot to determination durum wheat promising lines in locations of Darab, Dezful, Ahvaz and Khoramabad

برای بررسی هم‌زمان پایداری و عملکرد لاین‌ها از مختصات محیط متوسط (AEC)[1] استفاده شد (شکل ۴). به این شکل، بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز گفته می‌شود. در این نمودار (شکل ۴)، محور افقی که دارای یک پیکان است، از مبدأ مختصات می‌گذرد (۲۳،۲۴). تصویر لاین‌ها روی این محور، تقریبی از عملکرد لاین‌ها می‌باشد. این محور را محور میانگین محیط می‌نامند. نتایج بای‌پلات (شکل ۴) نشان داد که لاین شماره‌ی G5 بیش‌ترین عملکرد را داشته و بعد از آن لاین‌های شماره‌ی G6 و G4 قرار گرفتند. محور عمودی که از مبدأ مختصات می‌گذرد عمود بر محور میانگین محیط است، بیانگر اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط بوده و پایداری ارقام را تعیین می‌کند. هر چقدر تصویر لاین‌ها روی این محور بلندتر باشد نشان‌دهنده ناپایداری بیش‌تر آن‌هاست. با استفاده از شکل ۴ مشخص گردید که لاین‌های شماره‌ی G5، G10، G12، G11 و G14 جزء پایدارترین لاین‌ها از نظر عملکرد دانه در بین لاین‌ها و ارقام مورد بررسی بودند هم‌چنین این لاین‌ها از نظر عملکرد نیز وضعیت مطلوبی داشتند. از طرفی لاین‌های شماره‌ی G9، G13، G6، G15، G16، G17 و G3 جزء ناپایدارترین لاین‌ها از نظر پایداری عملکرد در بین سایر لاین‌ها و ارقام بودند و در بین آن‌ها لاین شماره‌ی G3 علاوه بر ناپایداری عملکرد، دارای عملکرد پایین نیز بود.

1- Average environment coordination

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]



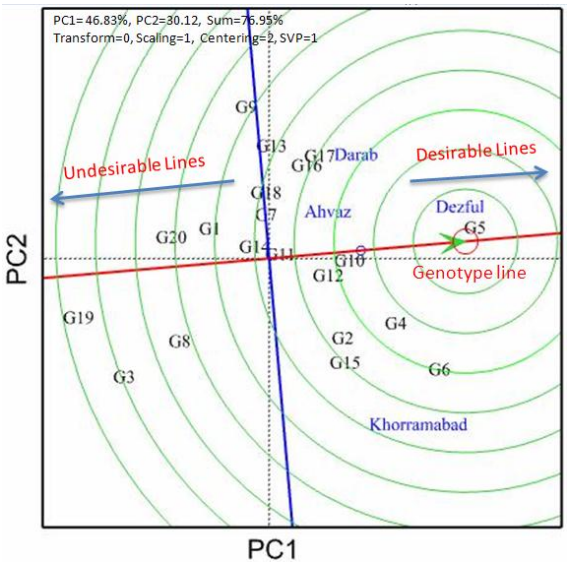
شکل ۴- بای‌پلات مختصات محیط متوسط (AEC) برای گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری لاین‌های امید بخش گندم دوروم در مناطق داراب، دزفول، اهواز و خرم‌آباد

Figure 4. Biplot of the average-environment coordination (AEC) for simultaneously, selection of yield and stability of durum wheat promising lines in locations of Darab, Dezful, Ahvaz and Khoramabad

با توجه به بای‌پلات شکل ۵، ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی فرضی است که دارای بیش‌ترین عملکرد و پایداری بوده و از نظر مکانی در مراکز دوایر متحدالمرکز بای‌پلات قرار دارد (۲۳). میزان مطلوبیت لاین‌ها به فاصله آن‌ها از ژنوتیپ مطلوب بستگی دارد. مقایسه لاین‌های مورد بررسی با ژنوتیپ ایده‌آل (شکل ۵) نشان داد که لاین شماره‌ی G5 نزدیک‌ترین لاین به ژنوتیپ ایده‌آل است که بیش‌ترین عملکرد را داشته و به‌علت قرار داشتن روی محور میانگین محیط دارای بیش ترین پایداری نیز است. هم‌چنین لاین‌های شماره‌ی G10، G4 و G6 بعد از لاین شماره‌ی G5 جزء بهترین لاین‌ها بودند. از طرفی براساس روش GGE بای‌پلات لاین‌های شماره‌ی G19، G3، G8 و G20 جزء ضعیف‌ترین لاین‌ها نسبت به سایر لاین‌ها از نظر عملکرد دانه در این تحقیق بودند. استفاده از مدل GGE بای‌پلات برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها در گیاهان ذرت (۵)، نخود (۷،۸)، کلزا (۱۶،۲۸) و گندم دوروم (۱۳) مورد استفاده و تأکید قرار گرفته است. محاسبه کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها در نمودار بای‌پلات، تقریبی از همبستگی بین محیط‌ها است. زمانی که زاویه بین دو بردار محیط ۹۰ درجه باشد همبستگی آن‌ها صفر درجه و اگر این زاویه صفر باشد همبستگی بین محیط‌ها ۱+ و اگر ۱۸۰ درجه باشد همبستگی ۱- خواهد بود. در واقع با تعیین مقدار همبستگی بین محیط‌ها می‌توان در آزمایشات تعیین سازگاری و پایداری ارقام و لاین‌ها که در چندین سال و مکان اجرا می‌شود، مکان‌ها و محیط‌های مشابه را شناسایی و حذف نمود که این امر منجر به کاهش هزینه‌ها خواهد بود (۲۴،۲۶).مقایسه بردارهای محیطی مناطق مورد بررسی نشان داد (شکل ۶) که همبستگی بین مناطق داراب و دزفول در حد متوسط است (زاویه بین بردارهای داراب و دزفول حدود ۴۵ درجه است). با توجه به کم بودن زاویه بین اهواز و دو منطقه داراب و دزفول، همبستگی اهواز با این دو منطقه بالا بود که این امر نمایانگر تشابه بین اهواز و هر دو منطقه داراب و دزفول از نظر شرایط زراعی لاین‌های گندم است. هم‌چنین مقایسه بردار محیطی خرم‌آباد با سه منطقه دیگر (داراب، اهواز و دزفول) نشان داد همبستگی بین خرم‌آباد و دزفول صفر (زاویه ۹۰ درجه) و با دو منطقه دیگر نیز پایین است که این مطلب نمایانگر عدم تشابه شرایط زراعی لاین‌های گندم در خرم‌آباد با سه منطقه دیگر است. با توجه به طول دوره رشد (۵۰ درصد رسیدگی) گندم دوروم در خرم‌آباد که نسبت به سه منطقه دیگر یعنی اهواز، دزفول و داراب بیش‌تر است (جدول نتایج نشان داده نشده است). می‌توان بیان کرد که شرایط آب و هوایی در خرم‌آباد نسبت به این سه منطقه معتدل‌تر بوده است. بنابراین این مسئله باعث قرار گرفتن خرم‌آباد در یک گروه جداگانه شده است (شکل ۶). روش GGE بای‌پلات برای تفکیک محیط‌های مشابه از محیط‌های غیرمشابه در سایر تحقیقات نیز مورد استفاده قرار گرفته است (۷،۱۳،۱۴). ویژگی مهم دیگر در بای‌پلات همبستگی بین محیط‌ها، طول بردار محیطی است که تقریبی از انحراف معیار درون هر محیط بوده و نیز شاخصی از قابلیت تمایز محیط‌ها است (۲۶). به‌طوری که بردارهای بلندتر، انحراف معیار بیش‌تر و در نتیجه قابلیت تمایز بیش‌تری دارند. قابلیت تمایز، یکی از ویژگی‌های مهم هر محیط بوده به‌طوری که محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نمی‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد ارقام و لاین‌ها را ارائه کنند (۲۴). بررسی بردارهای محیطی برای مناطق مورد بررسی نشان داد (شکل ۶) که خرم‌آباد با بلندترین طول بردار محیطی نسبت به سایر مناطق از قابلیت تمایز بالایی برخوردار است و از طرفی اهواز با کم‌ترین طول بردار محیطی نشان داد که از قابلیت تمایز پایینی برای ارقام و لاین‌ها برخوردار است. در مجموع نتایج

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]

نشان داد که به‌ترتیب مناطق خرم‌آباد، دزفول و داراب جزء مناطقی هستند که عمدتاً دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و می‌توانند در آزمایشات بررسی ارقام در بین لاین‌ها و ارقام مورد بررسی تمایز مناسبی ایجاد نمایند. پورداد و جمشید مقدم (۱۶) در بررسی اثرمتقابل ژنوتیپ در محیط در کلزای بهاره، دو محیط بزرگ شناسایی و در هر محیط بزرگ، مطلوب‌ترین محیط‌ها را شناسایی نمودند.

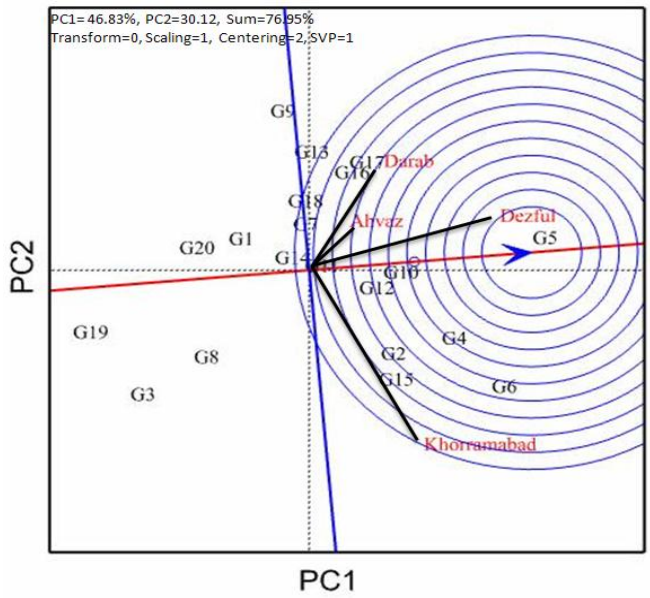


شکل ۵- بای‌پلات مقایسه لاین‌های امیدبخش گندم با ژنوتیپ ایده‌آل برمبنای عملکرد و پایداری
Figure 5. Biplot of durum wheat lines comparison with ideal genotype based on yield and stability

در مجموع، نتایج نشان داد که GGE بای‌پلات روش گرافیکی مناسبی برای گزینش هم‌زمان عملکرد و پایداری ارقام و لاین‌ها می‌باشد. در این تحقیق نتایج GGE بای‌پلات نشان داد که لاین شماره‌ی G5 (DW-93-5) یکی از بهترین لاین‌ها از نظر عملکرد بالا و پایداری عملکرد بود و هم‌چنین لاین شماره‌ی G10 (DW-93-10) یکی دیگر از لاین‌های خوب با عملکرد قابل قبول بود. هم‌چنین لاین‌های شماره‌ی G19 (DW-93-19) جزء ضعیف‌ترین لاین‌ها از نظر عملکرد دانه بود و لاین‌های شماره‌ی G3 (DW-93-3) و G8 (DW-93-8) جزء ضعیف‌ترین لاین‌ها از نظر عملکرد و پایداری عملکرد بودند. هم‌چنین تمام مناطق مورد بررسی به دو محیط بزرگ گروه‌بندی شدند. دزفول، داراب و اهواز در محیط بزرگ اول قرار گرفتند که در بین آن‌ها دزفول و داراب مطلوب‌ترین مناطق در محیط بزرگ اول بودند. خرم‌آباد به‌تنهایی در محیط بزرگ دوم قرار گرفت و نتایج نشان داد که خرم‌آباد یکی از مناطق مناسب برای کشت و مقایسه لاین‌های گندم است. البته با توجه به معتدل‌تر بودن خرم‌آباد نسبت به سایر مناطق این نتایج دور از انتظار نبود.

در این تحقیق، میزان عملکرد تولیدی لاین‌ها نسبت به هر یک از شاهدها نیز محاسبه شد (جدول ۴). افزایش عملکرد در همه لاین‌ها نسبت به شاهد دوروم (به جزء لاین‌های شماره‌ی G3، G19 و G20) مشاهده شد. از طرفی افزایش عملکرد نسبت به گندم تجاری نان تنها در لاین‌های شماره‌ی G4، G5 و G6 مشاهده شد که به ترتیب برابر با ۱، ۴ و ۴ درصد بود. یکی از صفاتی که در ایستگاه‌ها یادداشت برداری شده است و نتایج آن نشان داده نشده است، میزان خوابیدگی بوته (ورس) می‌باشد که تنها در دزفول مشاهده شد. در ایستگاه دزفول و در سال اول خوابیدگی بوته در لاین‌های شماره‌ی G4، G5، G11، G12، G16، G17، G18 و G20 مشاهده نشد. بیش‌ترین میزان خوابیدگی بوته مربوط به لاین شماره‌ی G14 با حدود ۷۰ درصد و بعد از آن مربوط به لاین شماره‌ی G13 با ۲۰ درصد بود. سایر لاین‌ها بین ۵ تا ۷ درصد دچار خوابیدگی بوته شدند. در سال دوم لاین‌های شماره‌ی G2، G6، G13 و G19 بین ۵ تا ۱۰ درصد خوابیدگی بوته داشتند.

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]



شکل ۶- بای‌پلات نقشه همبستگی بین مکان‌های مورد بررسی (داراب، اهواز، دزفول و خرم آباد) و مقایسه مناطق با محیط ایده‌آل
Figure 6. Biplot of correlation map among locations (Darab, Dezful, Ahvaz and Khoramabad) and comparison of locations with ideal environment

واکنش لاین‌ها و ارقام شاهد به بیماری‌های مهم مانند زنگ زرد، زنگ قهوه‌ای و زنگ ساقه از جمله معیار گزینش لاین‌ها بود. در همه ایستگاه‌ها این صفت یادداشت شد (جدول نتایج بیماری‌ها ذکر نشده است). علائم زنگ زرد و قهوه‌ای تنها در ایستگاه دزفول و در سال اول اجرای آزمایش در تعدادی از لاین‌ها مشاهده شد. در بین لاین‌های مورد بررسی بیش‌ترین میزان واکنش به زنگ زرد و زنگ قهوه‌ای در لاین شماره‌ی G7 مشاهده شد. در این لاین واکنش 20MR به زنگ زرد و 10MR به زنگ قهوای دیده شد. در لاین‌های شماره‌ی G1، G2، G9، G11، G12 و G16 واکنش 5MR به زنگ زرد و در لاین شماره‌ی G16 واکنش 5MR به زنگ قهوه‌ای مشاهده شد. در مجموع در بین ارقام شاهد و لاین‌های مورد بررسی تنها شاهد گندم نان حساسیت به زنگ زرد نشان داد.

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه، درصد عملکرد نسبت به ارقام شاهد گندم دوروم و گندم نان و سایر خصوصیات زراعی ارقام و لاین‌ها
Table 4. Mean of seed yield, percentage of yield to durum and bread wheat check cultivar and other cropping characteristics of cultivars and lines

کد لاین‌ها و ارقام	شماره‌ی لاین‌ها و ارقام	عملکرد ($Kg\ h^{-1}$)	درصد افزایش عملکرد نسبت به گندم دوروم	درصد افزایش عملکرد نسبت به گندم نان	تعداد روز تا ۵۰ درصد سنبله رفتن	تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدگی	ارتفاع بوته (cm)	وزن هزار دانه (g)
DW-93-1	G1	۵۷۱۴/۱	۱۰۰	۹۳	۱۱۰/۰	۱۵۳/۴	۸۱/۷	۵۰/۳۳
DW-93-2	G2	۶۱۳۲/۴	۱۰۷	۱۰۰	۱۱۳/۷	۱۵۳/۴	۹۱/۱	۴۱/۸۰
DW-93-3	G3	۵۵۹۴/۵	۹۸	۹۱	۱۱۳/۳	۱۵۶/۰	۹۲/۵	۴۴/۵۵
DW-93-4	G4	۶۲۰۹/۴	۱۰۹	۱۰۱	۱۱۳/۳	۱۵۵/۸	۸۲/۲	۴۵/۷۱
DW-93-5	G5	۶۳۸۱/۴	۱۱۲	۱۰۴	۱۰۹/۳	۱۵۳/۵	۸۶/۵	۴۲/۹۹
DW-93-6	G6	۶۴۰۲/۱	۱۱۲	۱۰۴	۱۱۲/۸	۱۵۵/۳	۸۸/۸	۴۶/۶۱
DW-93-7	G7	۶۰۵۳/۶	۱۰۶	۹۹	۱۱۴/۱	۱۵۵/۵	۹۲/۱	۴۴/۱۴
DW-93-8	G8	۵۷۶۰/۹	۱۰۱	۹۴	۱۱۲/۸	۱۵۵/۵	۹۱/۰	۴۴/۴۴
DW-93-9	G9	۶۰۵۷/۹	۱۰۶	۹۹	۱۱۲/۷	۱۵۵/۳	۹۱/۴	۴۷/۱۹
DW-93-10	G10	۶۱۵۹/۵	۱۰۸	۱۰۰	۱۱۴/۷	۱۵۵/۳	۸۷/۸	۴۰/۲۵
DW-93-11	G11	۵۹۰۱/۸	۱۰۳	۹۶	۱۱۵/۴	۱۵۷/۰	۸۵/۹	۴۵/۳۳
DW-93-12	G12	۶۰۳۸/۳	۱۰۶	۹۸	۱۱۳/۰	۱۵۵/۰	۸۷/۴	۴۴/۳۴
DW-93-13	G13	۵۹۵۱/۹	۱۰۴	۹۷	۱۱۱/۷	۱۵۴/۵	۹۲/۱	۴۴/۰۳
DW-93-14	G14	۵۸۷۲/۵	۱۰۳	۹۶	۱۱۰/۸	۱۵۶/۱	۸۹/۱	۵۰/۳۳
DW-93-15	G15	۶۱۴۵/۵	۱۰۸	۱۰۰	۱۱۳/۵	۱۵۴/۸	۸۹/۷	۴۶/۶۰
DW-93-16	G16	۵۹۹۴/۶	۱۰۵	۹۸	۱۱۲/۲	۱۵۴/۰	۸۳/۲	۴۱/۷۰
DW-93-17	G17	۶۱۴۵/۱	۱۰۸	۱۰۰	۱۱۲/۸	۱۵۵/۲	۸۵/۹	۴۲/۰۴
DW-93-18	G18	۶۰۲۴/۸	۱۰۵	۹۸	۱۱۱/۸	۱۵۳/۵	۸۳/۶	۴۳/۳۸
DW-93-19	G19	۵۵۶۹/۰	۹۷	۹۱	۱۱۰/۶	۱۵۱/۵	۸۵/۹	۴۵/۰۸
DW-93-20	G20	۵۶۴۵/۴	۹۹	۹۲	۱۱۲/۶	۱۵۳/۸	۸۷/۱	۴۱/۰۳
میانگین		۵۹۸۹/۷	۱۰۵	۹۸	۱۱۲/۵	۱۵۴/۷	۸۷/۷	۴۴/۵۹

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]

منابع

1. Aghaee Sarbarzeh, M., M. Dastfal, H. Farzadi, B. 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, 2: 315-325 (In Persian).
2. Aghaee-Sarbarzeh, M., M. Bahari, H. Farzadi, B. Andarzian, M. Dastfal and T. NajafiMirak. 2014. Evaluation of grain yield and its stability in durum wheat genotypes in warm and dry areas of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 16(1): 1-11 (In Persian).
3. Bose, L.K., N.N. Jambhulkar and O.N. Singh. 2014. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of grain yield stability in early duration rice. The Journal of Animal and Plant Sciences, 24(6): 1885-1897.
4. Brennan, J.P., A. Aw-Hassan, K.J. Quade and T.L. Nordblom. 2002. Impact of ICARDA Research on Australian Agriculture, Economic Research Report No. 11. , NSW Agriculture, Wagga Wagga,
5. Fan, X.M., M.S. Kang, H. Chen, Y. Zhang, J. Tan and C. Xu. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. Agronomy Journal, 99: 220−228.
6. Farshadfar, E., H. Zali and R. Mohammadi. 2011. Evaluation of phenotypic stability in chickpea genotypes using GGE-Biplot. Annals of Biological Research, 2(6): 282-292.
7. Farshadfar, E., M. Rashidi, M.M. Jokar and H. Zali. 2013. GGE Biplot analysis of genotype × environment interaction in chickpea genotypes, 3(1):417-423.
8. Farshadfar, E., S.H. Sabaghpour and H. Zali. 2012. Comparison of parametric and non-parametric stability statistics for selecting stable chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under diverse environments. Australian Journal of Crop Science, 6: 514-524.
9. Gauch, H.G. 1992. Statistical analysis of regional trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 287 pp.
10. Gauch, H.G. and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials, In: Kang M.S. and H.G. GauchJr (eds.), Genotype by environment interaction. CRC Press, Boca Raton, New York, 85-122 pp.
11. Mohammadi, R. and A. Amri. 2008. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. Euphytica, 159(3): 419-432.
12. Mohammadi, R., E. Farshadfar and A. Amri. 2015. Interpreting genotype × environment interactions for grain yield of rainfed durum wheat in Iran. The Crop Journal, 3: 526-535.
13. Mohammadi, R., M. Armion, B. Sadeghzadeh, S. Golkari, G.H. Khalilzadeh, H. Ahmadi, G.H. Abedi-Asl and M. Eskandari. 2016. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. Applied Field Crops Research, 29(4): 25-42 (In Persian).
14. Navabi, A., R. Yang, J. Helm and D.M. Spaner. 2006. Can spring wheat-growing mega environments in the northern Great Plains be dissected for representative locations or niche adapted genotypes? Crop Science, 46: 1107-1116.
15. Purchase, J. 1997. Parametric analysis to describe genotype environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph.D. University of the Free State, South Africa. 84 pp.
16. Pourdad, S.S. and M. Jamshid Moghaddam. 2013. Study on genotype ×environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. Journal of Crop Breeding, 5(12): 1-14 (In Persian).
17. Rao, P.S., P.S. Reddy, A. Ratore, B.V.S. Reddy and S. Panwar. 2011. Application GGE biplot and AMMI model to evaluate sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) hybrids for genotype × environment interaction and seasonal adaptation. Indian Journal Agricultural Science, 81: 438−444.
18. Roostaei, M., R. Mohammadi and A. Amri. 2014. Rank correlation among different statistical models in ranking of winter wheat genotypes. The Crop Journal, 2: 154-163.
19. Safavi, S.M. and S. Bahraminejad. 2013. The evaluation of genotype × environment interactions for grain yield of oat genotypes using AMMI model. Journal of Crop Breeding, 9 (22): 125-132 (In Persian).
20. 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.
21. Sneller, C.H., L. Kilgore-Norquest and D. Dombek. 1997. Repeatability of yield stability in soybean. Crop Science, 37: 383-390.
22. Temesgen, T., G. Keneni, T. Sefera and M. Jarso. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. The Crop Journal, 3: 258-268.
23. Yan, W. 2001. GGEbiplot-A widow's application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal, 93: 1111-1118.
24. Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science, 42: 11-20.
25. 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.
26. Yan, W. and M.S. Kang. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, Geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL. 288 pp.
27. Yan, W. and N.A. Tinker. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting and exploring genotype × environment interaction. Crop Science, 45: 1004-1016.
28. Zali, H., O. Sofalian, T. Hasanloo and A. Asghari. 2016. Evaluation of yield stability and drought tolerance based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. Agricultural Communications, 4(1): 1-8.
29. Zali, H., E. Farshadfar, S.H. Sabaghpour and R. Karimizadeh. 2012. Evaluation of genotype × environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. Annals of Biological Research, 3 (7): 3126-3136.
30. Zarei, L., E. Farshadfar, R. Haghparast, R. Rajabi, M. Mohammadi Sarab Badieh and H. Zali. 2012. Comparison of different methods of stability evaluation in bread wheat genotypes under drought stress conditions. Electronic Journal of Crop Breeding, 5(3): 81-97 (In Persian).

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]

Evaluation of Durum Wheat Cultivars and Promising Lines for Yield and Yield Stability in Warm and Dry Areas using AMMI Model and GGE Biplot

Tohid Najafi Mirak[1], Manoochehr Dastfal[2], Bahram Andarzian[3], Hosien Farzadi[4], Mohammad Bahari[5] and Hassan Zali[2]

1- Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Seed and Plant Improvement Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Darab, Iran
3- Seed and Plant Improvement Department, Khoozestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ahvaz, Iran
4- Seed and Plant Improvement Department, Dezfoul Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Dezfoul, Iran
5- Seed and Plant Improvement Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Khorramabad, Iran
6- Seed and Plant Improvement Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Darab, Iran
(Corresponding author: Hzali90@yahoo.com)
Received: April 30, 2017 Accepted: December 12, 2017

Abstract

To obtain high yield and stable genotypes, 18 durum wheat cultivars and promising lines along with two commercial durum (Behrang) and bread wheat (Chamran) as check cultivars, were evaluated in four warm and dry regions in Iran including Darab, Ahvaz, Khoramabad and Dezful during two cropping seasons (2013-2015). The experiments were conducted as a RCBD with three replications. Seed yield and some agronomic characteristics were recorded in each location. The results that first two bilinear AMMI model terms were significant and of which the first two terms explained 85.17% of the genotype × environment interaction. Also the results of AMMI model (AMMI1 and AMMI2) indicated that lines no. G5 (DW-93-5), G10 (DW-93-10) and G12 (DW-93-12) were the most stable lines with high mean yield performance. The polygon-view of GGE biplot recognized five superior lines (lines G5 (DW-93-5), G9 (DW-93-9), G13 (DW-93-13), G16 (DW-93-16) and G17 (DW-93-17)) and two mega-environments so that the best genotypes within each environment were determined. Simultaneous evaluation of yield and stability through average environment coordinate (AEC) biplot showed that line no. G5 (DW-93-5) with the highest seed yield and stability was the most stable line. Biplot analysis of correlation among environments revealed that environmental vectors of Khoramabad with three locations including Darab, dezful and Ahvaz were near to 90˚ so; these three locations were different from Khoramabad. Totally, Khoramabad, Darab and dezful locations had high discriminating ability so that were be able to show differences between lines and cultivars at ideal environment, so they had the highest discriminating ability and representativeness. Finally, lines no. G5 (DW-93-5) and G10 (DW-93-10) with high yield, broad adaptability, relative resistance to foliar diseases and seed quality were selected as best line for further investigation and to be candidate as commercial durum wheat cultivars.

Keywords: Compatibility, Durum wheat,Genotypes × environment interaction, Multivariate methods

[DOI: 10.29252/jcb.10.28.1]