



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

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 صفتی 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 مسؤول: Hzali90@yahoo.com)

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

چکیده

به منظور دستیابی به ژنتوتیپ‌های پرمحصول و سازگار گندم دوروم برای مناطق گرم و خشک کشور، آزمایشی با ۱۸ لاین امیدبخش به همراه دو شاهد شامل یک رقم شاهد گندم دوروم بهمنگ و یک رقم شاهد گندم نان چمران در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب، اهواز، خرم‌آباد و دزفول در قالب طرح بلوك‌های کامل تصادفی با سه تکرار و به مدت دو سال (۱۳۹۳-۹۵) 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 معنی دار بودند و ۸۵/۱۷ درصد تغییرات اثر متقابل ژنتوتیپ در محیط را توجیه نمودند. همچنین مدل AMMI (AMM1 و AMM2) نشان داد که لاین‌های شماره‌ی G5 (DW-93-5)، (DW-93-10) و G10 (DW-93-12) و G12 (DW-93-17) به علت داشتن میانگین عملکرد بالاتر از میانگین کل، می‌توانند به عنوان ژنتوتیپ‌هایی با پایداری بیشتر انتخاب شوند. بررسی بای‌پلات چند ضلعی منجر به شناسایی لاین‌های برتر (لاین‌های شماره‌ی G5 (DW-93-5)، (DW-93-16) و G16 (DW-93-13)، G13 (DW-93-9)، (DW-93-17) و G17 (DW-93-16)) و دو محیط بزرگ شده و ژنتوتیپ‌های مناسب در هر محیط بزرگ نیز مشخص گردید. بررسی هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنتوتیپ‌ها با استفاده از بای‌پلات 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 به خوبی 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، به عنوان لاین‌های برتر برای مطالعات تکمیلی و انتخاب مناسب‌تر بودند.

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

بوده و میزان تولید سالانه آن بین ۵۰۰-۶۰۰ هزار تن می‌باشد (۱۳). با توجه به اهمیتی که گندم دوروم در صنعت و تغذیه دارد، تولید و اصلاح ارقام جدید و پرمحصول 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 طیف از شرایط محیطی مختلف به اثرات ژنتوتیپ در محیط نسبت داده می‌شود (۱۰). اثرات متقابل ژنتوتیپ در محیط یکی از مسائل مهم در اصلاح نباتات است که در توسعه و گسترش واریته‌های اصلاح شده دارای اهمیت فراوان است. اثر متقابل ژنتوتیپ × محیط نشان‌دهنده حساسیت متفاوت ژنتوتیپ‌ها به شرایط محیطی است. بدین معنی که، بهترین ژنتوتیپ در یک محیط لزومناً بهترین ژنتوتیپ در محیط دیگر نیست (۸). به علت وجود اثر متقابل بین ژنتوتیپ و محیط، ارزیابی ارقام جدید در محیط‌های مختلف توسط بهنژادگران یک ضرورت محسوس می‌شود. از آنجائی که

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) یکی از محصولات مهم زراعی و صنعتی است. خصوصیات گلoton سنگین و خمیر غیرچسبنده و سنگین، این نوع گندم را برای تهیه محصولات پاستا از جمله ماکارانی و اسپاگتی ایده‌آل 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)^۱ یعنی مرکز و غرب آسیا و شمال آفریقا می‌باشد. 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 ۳۰۰-۴۰۰ هزار هکتار

دو جزء مهم اثر متقابل ژنتیپ × محیط محسوب می‌شوند که پی بردن به نوع هر کدام از آن‌ها در مجموع مربعات اثر متقابل می‌تواند سهم بسیاری در طرح‌بازی استراتژی بهترزآدی داشته باشد. اثر متقابل کراس‌اور پیچیده‌ترین تیپ اثر متقابل در گزینش بهترین ژنتیپ‌ها در یک برنامه بهترزآدی 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 ژنتیپ مورد توجه قرار گیرد. این مطلب دلالت دارد بر این که تحقیق پیرامون اثر متقابل ژنتیپ × محیط وقتی اهمیت بیشتری دارد که در ارتباط با اثر ژنتیپ مورد توجه قرار گیرد (۲۷). محققان زیادی روش GGE با پلات را روشی کارا برای بررسی اثر متقابل ژنتیپ × محیط معروف نموده‌اند و بیان داشته‌اند که این روش اطلاعات مفیدی در خصوص ژنتیپ‌ها و محیط‌های تحت بررسی در اختیار محقق قرار می‌دهد (۱۶، ۱۷، ۲۸) هدف از این تحقیق، بررسی اثر متقابل ژنتیپ × محیط از طریق روش‌های چند متغیره AMMI و روش گرافیکی GGE با پلات در لاین‌های دارای عملکرد اقتصادی و پایدار جهت معروف و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های گرم و خشک و شناسایی مناطق مطلوب بود.

مواد و روش‌ها

هجهد لاین امیدبخش گندم دوروم، که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته گندم دوروم اقلیم گرم و خشک جنوب کشور در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه 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 ۱۳۹۳-۹۴ و (۱۳۹۴-۹۵) 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 قارچ کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضعفونی 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 اوخر آذر در شش خط به طول شش متر (۷/۲) مترمربع) به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم دیگر به صورت جوی و پشته کشت و به صورت 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 پهن برگ و

تجزیه و تحلیل روش‌های معمول مثل استفاده از جدول‌های تجزیه مرکب فقط اطلاعاتی در مورد اثر متقابل ژنتیپ و محیط به دست می‌دهد، محققین معیارهای متفاوتی را جهت تشخیص پایداری ارقام و معرفی آن‌ها و بررسی اثر متقابل ژنتیپ در محیط به کار بردند (۲۸). بهطور کلی روش‌های تجزیه پایداری به روش‌های تک متغیره و چندمتغیره تقسیم می‌شوند (۳۰). در روش‌های تک متغیره سعی می‌شود که پاسخ ژنتیپ به محیط از طریق محاسبه یک شاخص پایداری توجیه شود. لذا، ممکن است یک ژنتیپ در یک ارزیابی پایدار و در روش دیگر ناپایدار شناخته شود و نتیجه مشابهی به دست نماید. اما در تجزیه‌های چند متغیره مانند تجزیه AMMI^۱، پاسخ و واکنش یک ژنتیپ 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، ژنتیپ‌ها و یا بین هر دو را به دقت توسط یک دیاگرام پراکنش توضیح دهند. استفاده از مدل AMMI برای بررسی اثر متقابل ژنتیپ × محیط در گیاهان مختلف از جمله برخج (۳۰، ۲۰)، لویا (۲۲)، نخود زراعی (۲۹)، گندم نان (۱۸، ۱۹) و گندم دوروم (۱۱، ۱۱) گزارش شده است. آقایی سربزه و همکاران (۱) به منظور دستیابی به ژنتیپ‌های پرمحصول و پایدار گندم دوروم در ۶ منطقه گرسیز از مدل AMMI استفاده کردند. نتایج حاصله با رسم با پلات با مدل AMMI نشان داد که لاین‌های شماره‌ی ۱۸ (DW-87-18) و ۲۰ (DW-87-20) با کمترین اثر متقابل به عنوان پایدارترین شناخته شدند. همچنین برای هر یک از محیط‌های مورد بررسی نیز ژنتیپ‌های مناسب شناسایی نمودند. محمدی و امری (۱۱) بیان نمودند که پارامتر ارزش پایداری AMMI، مفهوم استاتیکی پایداری را بیان می‌کند، بنابراین ژنتیپ‌هایی که با این روش معرفی می‌شوند ممکن است از عملکرد متوسط برخوردار باشند. از طرفی این روش ژنتیپ‌های ایده‌آل برای محیط‌های نامساعد را شناسایی می‌کند. روش GGE (ژنتیپ + ژنتیپ × محیط) با پلات یکی از روش‌های نوین در بررسی اثر متقابل ژنتیپ × محیط بوده که در آن اثر ژنتیپ و اثر متقابل ژنتیپ × محیط نشده و گریش رقم‌های پایدار براساس هر دو اثر مذکور صورت می‌گیرد (۲۵). آن‌چه که در ارزیابی ژنتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حائز اهمیت است، این می‌باشد که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست. لذا، حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنتیپ (G) و اثر متقابل ژنتیپ × محیط (GE) حائز اهمیت است (۲۶). تنها اثر ژنتیپ و ژنتیپ × محیط است که در گزینش لاین‌های پایدار اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنتیپ و ژنتیپ × محیط می‌باشد به صورت توازن بررسی شوند. روش GGE با پلات این امکان را می‌دهد که این دو اثر (ژنتیپ و ژنتیپ × محیط) همزمان و به صورت 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)

1- The additive main effect and multiplication interaction

اصلی اثر متقابل^۴ (δ_{en}) و δ_{ge} بردار ویژه محیط عام از مؤلفه اصلی اثر متقابل، ρ_{ge} جزء مربوط به باقیمانده (نویز)^۵ و ε_{ger} جزء مربوط به خطای (درصورتی که آزمایش تکرار داشته باشد) است (۱۰، ۹). روش GGE با پلاس، اثر ژنتیک (G) و اثر متقابل ژنتیک در محیط (GE) را با هم حفظ می‌کند و GGE را به دو جزء ضربی تجزیه می‌کند. مدل استفاده شده در GGE با پلاس به صورت 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 ژنتیک و محیط j گویند، g_{i2} و e_{2j} را نمرات ثانویه برای ژنتیک و محیط j می‌نامند و ε_{ij} باقیماندهای است که به وسیله اثرات اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. یک با پلاس 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) تجزیه می‌شوند که معادله به صورت 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 به ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC2 و PC1)، ξ_{i1} و ξ_{i2} به ترتیب بردارهای ویژه ژنتیک عام برای PC1 و PC2 و η_{1j} و η_{2j} به ترتیب بردارهای ویژه محیط زام برای PC1 و PC2 می‌باشد (۲۵). به منظور رسم نمودارهای GGE با پلاس، تجزیه AMMI و تجزیه واریانس مركب داده‌ها از نرمافزار Genestat V15 استفاده شد و برای رسم با پلاس‌های مدل AMMI از نرمافزار Statistica استفاده شد.

نازکبرگ به صورت مکانیکی و در صورت نیاز با استفاده از علف‌کش‌های پوماسویر و گرانستار به ترتیب به مقدار یک لیتر و ۲۰ گرم در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه‌فرتن استفاده شد. در طول دوره رشد علاوه بر مراقبت‌های زراعی، یادداشت‌برداری از کرت‌های آزمایشی به عمل آمد که مهمنه‌ترین آن‌ها شامل تعداد روز از زمان اولین آبیاری تا ۵۰ درصد ظهور سنبله، تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدن فیزیولوژیکی، ارتفاع بوته، درصد خواهدگی، واکنش به بیماری زنگ و سایر بیماری‌های برگی دیگر، رنگ دانه، وزن هزار دانه و وجود لکه آردی است. بررسی پایداری عملکرد ارقام و GGE و AMMI لاین‌ها با استفاده از روش‌های چند متغیره واریانس و با پلاس انجام شد. در مدل AMMI تجزیه واریانس و مؤلفه‌های اصلی در یک تجزیه واحد ترکیب می‌شوند. مدل تجزیه AMMI به صورت 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 ژنتیک عام در محیط عام و تکرار n ، μ میانگین کل، σ_g اثر اصلی ژنتیک (اختلاف میانگین یک ژنتیک از میانگین ژنتیک‌ها)، β_e اثر اصلی محیط (اختلاف میانگین یک محیط از میانگین محیط‌ها) است. قسمت ضرب‌پذیر مدل AMMI از مؤلفه‌های اصلی به منظور تجزیه اثر متقابل به یک تا N محور مؤلفه اصلی استفاده می‌کند. λ_n یک مقدار منفرد برای محور مؤلفه اصلی است. γ_{gn} که برابر با مقدار ویژه مربوط به همان مؤلفه اصلی است. N تعداد محورهای PCA باقیمانده در مدل AMMI می‌باشد. γ_{gn} بردار ویژه ژنتیک عام از n مؤلفه

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 (<i>T.durum</i>)
G2	DW-93-2	Chamran (<i>T.aestivum</i>)
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/AJAJA_2/5/KJOVE_1/7/AJAJA_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//SOMA T_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
G16	DW-93-16	84/ALD/3/PATKA_7/YAZI_1/4/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/5/SOOTY_9/RASCON_37//WODUCK/CHAM_3 GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/5/AJAJA_12/F3LO CAL(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/CAEBCA_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/AL O/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

4- Interaction principal component analysis

2- Principal component analysis

5- Noise

3- Eigen vector

6- Singular valued composition

نتایج تجزیه واریانس با استفاده از مدل AMMI، اختلاف معنی‌داری را برای اثر ژنوتیپ، محیط و اثر مقابله ژنوتیپ × محیط نشان داد. معنی‌دار شدن اثر مقابله 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 مقابله ژنوتیپ × محیط تجزیه شود تا بتوان لاین‌های پایدار را معرفی کرد. بهمنظور تجزیه اثر مقابله ژنوتیپ × محیط، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی روی ماتریس باقیمانده صورت گرفت که دو مؤلفه‌ی اصلی اثر مقابله ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بودند. اولین مؤلفه‌ی اصلی (IPC1) ۵۰/۲۲ درصد از مجموع مربعات اثر مقابله ژنوتیپ را به‌خود اختصاص داده و این مقدار برای دومین مؤلفه (IPC2) برابر با ۳۴/۹۵ درصد بود. مؤلفه اصلی باقیمانده (نویز) در مدل تنها ۱۴/۸۳ درصد از مجموع مربعات اثر مقابله ژنوتیپ را توجیه نمود. در کل، مدل AMMI با دو مؤلفه‌ی اصلی (AMMI2)، ۸۵/۱۷ درصد از تغییرات اثر مقابله را توجیه کرد (جدول ۲). مدل AMMI دارای آماره‌های مختلفی است که برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و این آماره‌ها هم‌ستگی 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 ۱، G11، G10، G5 و G12، G14 و G16 پایدارترین لاین‌ها از نظر پایداری عملکرد دانه بودند و لاین‌های شماره‌ی ۵، 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، G11، G20، G12 و G12 با کمترین مقدار ASV جزو 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) جزو لاین‌های پایدار بودند. از طرفی لاین G5 هرچند در روش ASV جزو 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 مقابله 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) است. باید توجه داشت که هر محیط (محور عمودی) اولین مؤلفه‌ی اصلی ژنوتیپ‌ها و محیط‌هایی که دارای مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی بزرگ (مثبت یا منفی) باشند اثر مقابله بالا دارند، در حالی که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای اولین مؤلفه‌ی اصلی با علامت یکسان، اثرات مقابله مثبت ایجاد می‌کنند، در حالی که ترکیب مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی با علامت‌های مخالف، واکنش اثر مقابله منفی را ایجاد می‌نمایند. بررسی بای‌پلات شکل ۱ نشان داد که لاین‌های شماره‌ی G9، G13، G6، G15، G3، G16، G11، G10، G18 و G8 و مناطق خرم‌آباد و داراب دارای اثر مقابله بزرگ بودند. به عبارت دیگر این مناطق بیشترین تأثیر را در اثر مقابله داشتند. باید توجه داشت که محیط‌هایی ایده‌آل می‌باشند که دارای اثر مقابله بزرگ باشند چون در این محیط‌ها تفاوت ارقام بهتر مشخص می‌شود. ولی در مورد ارقام هرچه تحت تأثیر محیط بوده و پایداری عملکرد بیش‌تری دارد. لاین‌هایی که در مرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند، اثر مقابله نزدیک به صفر دارند بنابراین دارای پایداری عمومی هستند، لاین‌های شماره‌ی G11، G5، G10، G14 و G12 دارای اثر مقابله کوچک بودند ولی لاین‌های شماره‌ی G5 (DW-93-5) (DW-93-10) (G10) و G12 (DW-93-12) به‌علت داشتن میانگین عملکرد بالاترزا 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.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد لاین های 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 مریبات	درصد توجیه	SS
تیمار	۷۹	۲۰.۸۲۶۵۱**		
زنوتیپ	۱۹	۱۳۷.۲۴۵**		
محیط	۳	۵۲۶۶۴۳۲۲۶**		
زنوتیپ × محیط	۵۷	۶۹۴۳۵۳*		
مؤلفه اصلی اول	۲۱	۹۴۶۳۹۷**	۵۰/۲۲	
مؤلفه اصلی دوم	۱۹	۷۲۸۰.۸۳*	۳۴/۹۵	
باقي مانده	۱۷	۳۴۵۳۰.۷	۱۴/۸۳	
خطای ادغام شده	۴۰۰	۱۰.۴۲۶۵۳		

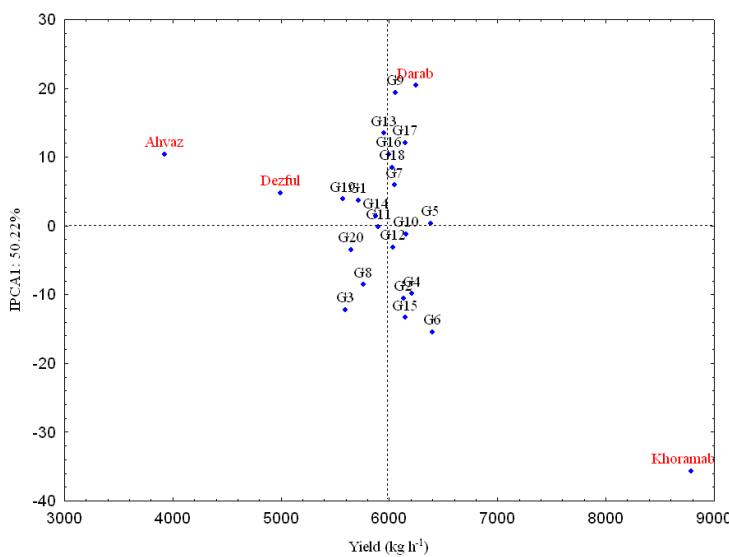
* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

جدول ۳- میانگین عملکرد لاین ها و مناطق مورد بررسی، مقادیر دو مؤلفه اصلی اثرب مقابل و آماره های پایداری ASV و SIPC1 و رتبه آن ها
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

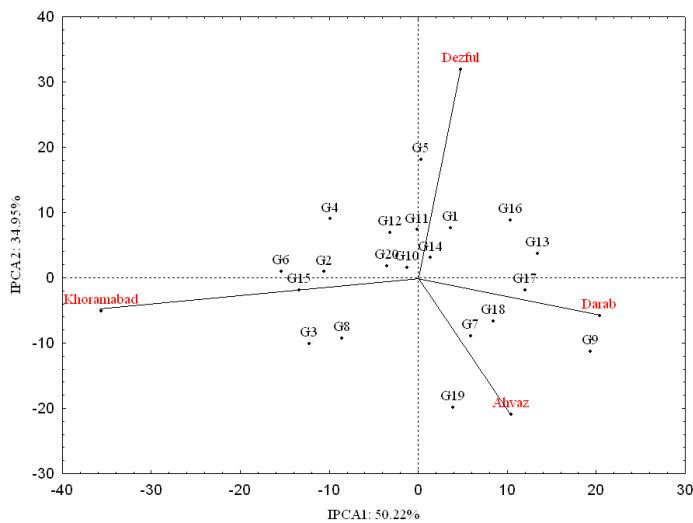
کد لاین ها و ارقام	شماره لاین ها	عملکرد لاین ها (kg h ⁻¹)	IPCA1	IPCA2	ASV	رتیبه	SIPC1	رتیبه	بررسی
DW-93-1	G1	۵۷۱۴/۱	۳/۶۸۵	۹/۲۰	۷/۵۴۹	۶	۳/۶۸۵	۱۰/۵۸۱	۷
DW-93-2	G2	۶۱۳۲/۴	-۱۰/۵۸۱	-۰/۸۹۹	۱۵/۲۲	۹	۱۰/۵۸۱	۱۰/۵۸۱	۱۴
DW-93-3	G3	۵۵۴۳/۵	-۱۲/۴۵۶	-۰/۶۷	۲۰/۴۳۰	۱۷	۱۲/۴۶۶	۹/۸۸۹	۱۶
DW-93-4	G4	۶۲۰۹/۴	-۹/۸۸۹	۸/۹۹۳	۱۶/۸/۱	۱۱	۹/۸۸۹	۹/۸۸۹	۱۲
DW-93-5	G5	۶۳۸۱/۴	-۰/۳۰۹	۱۸/۱۱	۱۸/۱/۱۰	۱۴	-۰/۳۰۹	-۰/۳۰۹	۲
DW-93-6	G6	۶۴۰۲/۱	-۱۵/۴۱۹	۲۲/۱۷	۲۲/۱/۷	۱۹	۱۵/۴۱۹	۱۵/۴۱۹	۱۹
DW-93-7	G7	۶۰۵۱/۶	۵/۹۰۴	-۸/۹۰۹	۱۲/۳۰	۷	۵/۹۰۴	۵/۹۰۴	۹
DW-93-8	G8	۵۷۶۰/۹	-۸/۵۶۷	-۹/۳۰۶	۱۵/۴۳	۱۰	۸/۵۶۷	۸/۵۶۷	۱۱
DW-93-9	G9	۶۰۵۷/۹	۱۹/۳۸۵	-۱۱/۳۰	۳۰/۰۶	۲۰	۱۹/۳۸۵	۱۹/۳۸۵	۲۰
DW-93-10	G10	۶۱۰۹/۵	-۱/۱۱۳	۱/۵۲	۲/۲۱	۱	۱/۲۱۳	۱/۲۱۳	۳
DW-93-11	G11	۵۹۰۱/۸	-۰/۱۴۰	۷/۱۳۴	۷/۴۳۷	۴	-۰/۱۴۰	-۰/۱۴۰	۱
DW-93-12	G12	۶۰۳۸/۳	-۳/۱۶۲	۸/۲۶	۶/۹۰۴	۵	۳/۱۶۲	۳/۱۶۲	۵
DW-93-13	G13	۵۹۵۱/۹	۱۳/۴۳۳	۱۹/۶۵	۳/۷۰۷	۱۶	۱۳/۴۳۳	۱۳/۴۳۳	۱۸
DW-93-14	G14	۵۸۷۲/۵	۱/۳۷۱	۳/۶۳	۳/۰۴۸	۲	۱/۳۷۱	۱/۳۷۱	۴
DW-93-15	G15	۶۱۴۵/۵	-۱۳/۳۷۰	۱۹/۳۰	-۱/۸۴۸	۱۵	۱۳/۳۷۰	۱۳/۳۷۰	۱۷
DW-93-16	G16	۵۹۹۴/۶	۱۰/۳۳۹	۱۷/۲۷	۸/۸۰۴	۱۲	۱۰/۳۳۹	۱۰/۳۳۹	۱۳
DW-93-17	G17	۶۱۴۵/۱	۱۲/۰۷۸	۱۷/۴۴	-۱/۸۸۷	۱۳	۱۲/۰۷۸	۱۲/۰۷۸	۱
DW-93-18	G18	۶۰۲۴/۸	۸/۴۷۹	۱۳/۸۹	-۶/۶۷۸	۸	۸/۴۷۹	۸/۴۷۹	۱۰
DW-93-19	G19	۵۵۹۰/۰	-۳/۸۶۷	۲۰/۰۵۹	-۱۹/۸۲۳	۱۸	۳/۸۶۷	۳/۸۶۷	۸
DW-93-20	G20	۵۶۴۵/۴	۳/۴۸۹	۱/۸۲۵	۵/۱۴	۳	۳/۴۸۹	۳/۴۸۹	۶
اهواز	Ahvaz	۷۹۲۳	-۰/۱۲۶	۲۵/۷۵	-۲۰/۹۴۵	۱۰/۱۲۶	۱۰/۱۲۶	۱۰/۱۲۶	
داراب	Darab	۶۲۴۶	۲۰/۳۹۰	۲۹/۸۶	-۵/۸۵۲	۲۹/۳۹۰	۲۹/۳۹۰	۲۰/۳۹۰	
دزفول	Dezful	۴۹۹۳	۴/۸۴۹	۳۲/۶۶	۳۱/۹۲۵	۴/۸۴۹	۴/۸۴۹	۴/۸۴۹	
خرمآباد	Khorramabd	۸۷۸۹	-۳۵/۶۶۵	۵۱/۱۴۹	-۵/۱۲۸	-۳۵/۶۶۵	-۳۵/۶۶۵	۳۵/۶۶۵	

دارای سازگاری خصوصی با این منطقه بود. همچنین لاین شماره G9 دارای سازگاری خصوصی با داراب بود. از طرفی لاین شماره G5 نیز دارای سازگاری خصوصی با دزفول بود. بنابراین لاین های G9 و G5 برای کشت در مناطق داراب و دزفول توصیه می شوند. لاین های شماره G10، G11، G12، G13، G14، G15، G16 و G17 دارای اثرب مقابل کوچک هستند بنابراین دارای سازگاری عمومی بودند ولی لاین های شماره G10 (DW-93-10) و G12 (DW-93-12) به علت داشتن میانگین عملکرد بیشتر از میانگین کل، لاین هایی با سازگاری عمومی خوب شناخته شدند.

شکل ۲ بایپلات مؤلفه های اصلی اول و دوم اثرب مقابل را برای لاین ها و مناطق مورد بررسی نشان می دهد (AMMI2). در واقع لاین ها و مناطق براساس مقادیر مؤلفه های اصلی اول و دوم نقطه بیان شده اند. این بایپلات را درصد اطلاعات مربوط به اثرب مقابل ژنتیپ × محیط ۸۵/۱۷ را توجیه می کند و سهم مؤلفه اصلی اول در تفکیک ژنتیپ ها و محیط بیشتر (۵۰/۲۲) و سهم مؤلفه اصلی شدید دوم، کمتر (۳۴/۹۵) بود. با توجه به شکل ۲، لاین های شماره G9، G16، G17، G18، G19 و G20 دارای اثرب مقابل بزرگ و ناپایدار بودند. با توجه به این که لاین شماره G19 دارای واکنش اثرب مقابل مشابه با منطقه اهواز بود، بنابراین



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



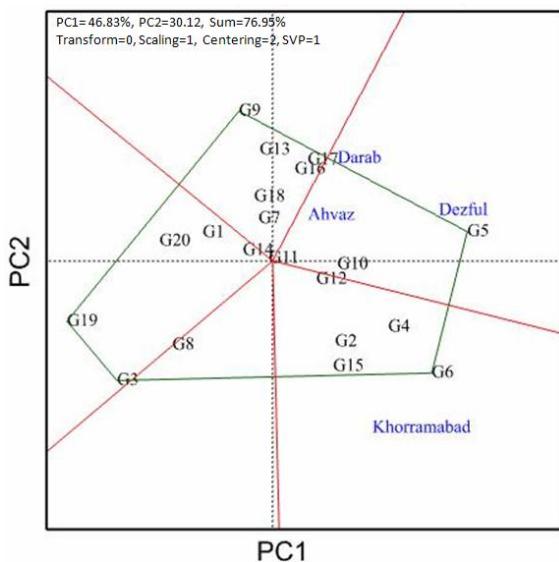
شکل ۲- نمودار بای‌پلات براساس مقادیر دو مؤلفه اصلی اول اثربال (مدل AMMI2)
Figure 2. Biplot based on value of two main components of interaction (AMMI2 model)

پیچیده اثر متقابل ژنتیک × محیط بوده اما الزاماً به معنای غیرمعتبر بودن بای‌پلات نیست (۲۷، ۲۸). بررسی نمودار چند ضلعی بهمنظور تعیین لاین‌های بتر در محیط‌های مختلف و مشخص نمودن محیط‌های بزرگ (شکل ۳) نشان داد که لاین‌های شماره‌ی G5، G6، G9، G18 و G19 در روش چند ضلعی قرار دارند. این لاین‌ها ممکن است جزو 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 بتر در دزفول بود. همچنین لاین شماره‌ی G17 جزو لاین‌های بتر در منطقه داراب بودند. سومین محیط بزرگ خرم‌آباد بود و لاین‌های شماره‌ی

نمایش چند ضلعی اثرات متقابل × محیط در آزمایشات چند محیطی بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثرات متقابل بین ژنتیک‌ها و محیط‌ها به منظور 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 ژنتیک (G) و اثربال ژنتیک × محیط (GEI) را به طور همزمان مورد توجه قرار می‌دهد، استفاده شد. نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۴۶/۸۳ و ۳۰/۱۲ درصد و در مجموع ۷۶/۹۵ درصد کل تغییرات را توجیه کردند که بیانگر معنیر 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

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 به طور معنی‌داری بزرگ‌تر از واریانس درون محیط‌های بزرگ است و دوم این‌که ارقام برتر متفاوتی در محیط‌های بزرگ وجود دارد (۰۰). همچنین لاین‌های شماره‌ی G11 و G14 در مرکز بای‌پلات قرار داشتند. به طور 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 می‌باشد.

G15، G2، G4 و G15 جزء لاین‌های برتر در این منطقه بودند. این نتایج نشان‌دهنده اثرات متقابل کراس‌اوری است که در آن رتبه ژنتیک‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت می‌باشد (۳۷). از طرفی قرارگرفتن برخی از محیط‌ها در گروه‌های مشابه نشان می‌دهد که رتبه ژنتیک‌ها در محیط‌های یک گروه خاص تغییرات زیادی ندارد که نشان‌دهنده اثرات متقابل غیرکراس‌اوری است. این نتایج نشان می‌دهد که هر دو نوع اثراً متقابل 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 G3 و G19 در رأس چند ضلعی قرار داشتند اما هیچ

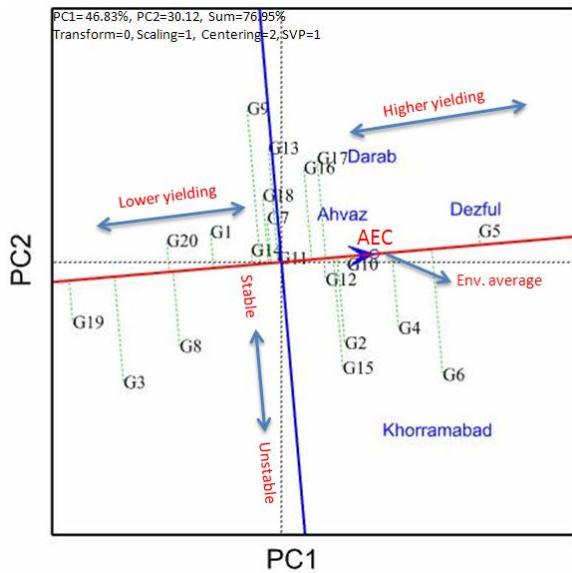


شکل ۳- چند ضلعی GGE بای‌پلات برای تعیین لاین‌های امید بخش گندم دوروم در مناطق داراب، دزفول، اهواز و خرم‌آباد
Figure 3. Polygon of GGE biplot to determination durum wheat promising lines in locations of Darab, Dezful, Ahvaz and Khorramabad

برده 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، G11، G12، G14 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.

برای بررسی همزمان پایداری و عملکرد لاین‌ها از مختصات محیط متوسط (AEC)^۱ 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 اثراً متقابل ژنتیک × محیط

۱- Average environment coordination



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

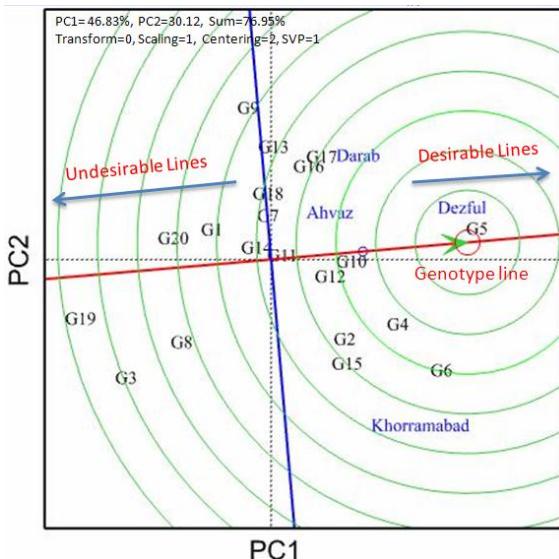
Figure 4. Biplot of the average-environment coordination (AEC) for simultaneously selection of yield and stability of durum wheat promising lines in locations of Darab, Dezful, Ahvaz and Khorramabad

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 شده 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 بای‌پلاس برای تفکیک محیط‌های مشابه از محیط‌های غیرمشابه در سایر تحقیقات نیز مورد استفاده قرار گرفته است (۱۴، ۱۳، ۷). ویژگی مهم دیگر در بای‌پلاس همبستگی بین محیط‌ها، طول بردار محیطی است که تقریبی از انحراف معیار بیشتر و در نتیجه قابلیت تمایز بیشتری دارد. 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

با توجه به بای‌پلاس شکل ۵، ژنتیک ایده‌آل، ژنتیکی فرضی است که دارای بیشترین عملکرد و پایداری بوده و از نظر مکانی در مراکز دوایر متعدد مرکز بای‌پلاس قرار دارد (۳۳). میزان مطلوبیت لاین‌ها به فاصله آن‌ها از ژنتیک مطلوب بستگی دارد. مقایسه لاین‌های مورد بررسی با ژنتیک ایده‌آل (شکل ۵) نشان داد که لاین شماره‌ی G5 نزدیک‌ترین لاین به ژنتیک ایده‌آل است که بیشترین عملکرد را داشته و به علت قرار داشتن روی محور میانگین محیط دارای بیشترین پایداری نیز است. همچنین لاین‌های شماره‌ی G10، G4 و G6 بعد از لاین شماره‌ی G5 جزو بهترین لاین‌ها بودند. از طرفی براساس روش GGE بای‌پلاس روشن شماره‌ی G19، G3، G8 و G20 جزو ضعیف‌ترین لاین‌ها نسبت به سایر لاین‌ها از نظر عملکرد دانه در این تحقیق بودند. استفاده از مدل GGE بای‌پلاس برای ارزیابی پایداری عملکرد ژنتیک‌ها در گیاهان ذرت (۵)، نخود (۷، ۸)، کلزا (۱۶، ۲۸) و گندم دوروم (۱۳) مورد استفاده و تأیید قرار گرفته است. محاسبه کسینوس زاویه بین بردارهای محیط‌ها در نمودار بای‌پلاس، 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

(۱۶) در بررسی اثر مقابل ژنتیک در محیط در کلزای بهاره، دو محیط بزرگ شناسایی و در هر محیط بزرگ، مطلوب‌ترین محیط‌ها را شناسایی نمودند.

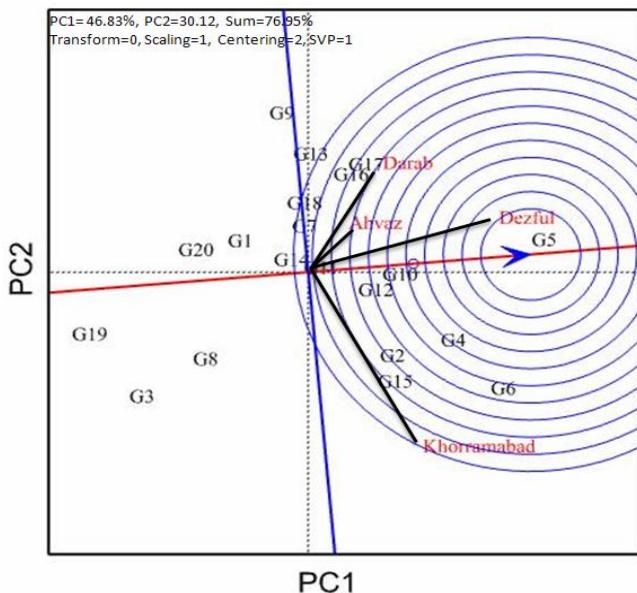
نشان داد که به ترتیب مناطق خرم‌آباد، دزفول و داراب جزو مناطقی هستند که عمدهاً دارای قابلیت تمایز بالایی بوده و می‌توانند در آزمایشات بررسی ارقام در بین لاین‌ها و ارقام مورد بررسی تمایز مناسبی ایجاد نمایند. پورداد و جمشید مقدم



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

در این تحقیق، میزان عملکرد تولیدی لاین‌ها نسبت به هر یک از شاهدهای 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، G6 و G5 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 (رس) 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.

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 به تنهایی 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.



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 Khorramabad) and comparison of locations with ideal environment

شماره‌ی G7 مشاهده شد. در این لاین واکنش 20MR به زنگ زرد و 10MR به زنگ قهوه‌ای دیده شد. در لاین‌های 5MR شماره‌ی G1، G2، G11، G9، G12 و G16 و 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.

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). علاوه زنگ زرد و قهوه‌ای تتها 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

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	لاین‌ها و ارقام	شماره‌ی	عملکرد (Kg h ⁻¹)	درصد افزایش عملکرد نسبت به گندم دوروم	درصد افزایش عملکرد نسبت به گندم نان	تعداد روز تا رفتن	درصد رسنبله	تعداد روز تا رفتن	ارتفاع بوته (cm)	وزن هزار دانه (g)
DW-93-1	G1	5714/1	100	93	110	153/4	153/4	81/7	41/8	50/33
DW-93-2	G2	6132/4	107	100	112/7	153/4	153/4	91/1	41/8	41/8
DW-93-3	G3	5594/5	98	91	112/3	155/0	155/0	92/5	44/55	44/55
DW-93-4	G4	6209/4	109	101	112/3	155/8	155/8	82/2	45/71	45/71
DW-93-5	G5	6381/4	112	104	109/3	153/5	153/5	86/5	42/99	42/99
DW-93-6	G6	6402/1	112	104	112/8	155/3	155/3	88/8	46/61	46/61
DW-93-7	G7	6503/6	106	99	112/1	155/5	155/5	92/1	44/14	44/14
DW-93-8	G8	5760/9	101	94	112/8	155/5	155/5	91/0	44/44	44/44
DW-93-9	G9	6057/9	106	99	112/7	155/3	155/3	91/4	47/19	47/19
DW-93-10	G10	6159/5	108	100	114/7	155/3	155/3	87/8	40/25	40/25
DW-93-11	G11	5801/8	103	96	114/4	157/-	157/-	85/9	40/33	40/33
DW-93-12	G12	6038/3	106	98	112/0	155/0	155/0	87/4	44/34	44/34
DW-93-13	G13	5851/9	104	97	111/7	154/5	154/5	92/1	44/03	44/03
DW-93-14	G14	5872/5	103	96	110/8	156/1	156/1	89/1	50/33	50/33
DW-93-15	G15	6145/5	108	100	112/5	154/8	154/8	89/7	46/60	46/60
DW-93-16	G16	5994/6	105	98	112/2	154/0	154/0	83/2	41/70	41/70
DW-93-17	G17	6145/1	108	100	112/8	155/2	155/2	85/9	42/4	42/4
DW-93-18	G18	6034/8	105	98	111/8	153/5	153/5	83/6	43/38	43/38
DW-93-19	G19	5569/0	97	91	110/6	151/5	151/5	85/9	45/08	45/08
DW-93-20	G20	5645/4	99	92	112/6	153/8	153/8	87/1	41/03	41/03
میانگین										

منابع

- 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).
- 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).
- 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.
- 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,
- 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.
- 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.
- 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.
- Farshadfar, E., S.H. Sabaghpoor 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.
- Gauch, H.G. 1992. Statistical analysis of regional trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 287 pp.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- Sneller, C.H., L. Kilgore-Norquest and D. Dombek. 1997. Repeatability of yield stability in soybean. *Crop Science*, 37: 383-390.
- 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.
- 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.
- Yan, W. and I. Rajcan. 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science*, 42: 11-20.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Zali, H., E. Farshadfar, S.H. Sabaghpoor 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.
- 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).

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 Mirak¹, Manoochehr Dastfal², Bahram Andarzian³, Hosien Farzadi⁴, Mohammad Bahari⁵ and Hassan Zali²

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, Dezful Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Dezful, 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, Khorramabad 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 \times 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 Khorramabad with three locations including Darab, dezful and Ahvaz were near to 90° so; these three locations were different from Khorramabad. Totally, Khorramabad, 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 \times environment interaction, Multivariate methods