

ارزیابی پایداری عملکرد دانه و سازگاری لاین‌های اصلاحی گندم دوروم دیم

Assessment of Grain Yield Stability and Adaptability in Rainfed Durum Wheat Breeding Lines

رضا محمدی^{*}، محمد آرمیون^۲، بهزاد صادق زاده^۳، صابر گلکاری^۳، غلامرضا خلیل زاده^۴،
حسن احمدی^۵، غلامرضا عابدی اصل^۶، مسعود اسکندری^۷

۱. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه
۲. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام
۳. موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه
۴. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه
۵. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج
۶. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل
۷. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیروان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۵

چکیده

محمدی، ر. آرمیون، م. صادق زاده، ب. گلکاری، ص. خلیل زاده، غ. احمدی، ح. عابدی اصل، غ. اسکندری، م. ارزیابی پایداری عملکرد دانه و سازگاری لاین‌های اصلاحی گندم دوروم دیم
نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی دوره ۲۹۵ - شماره ۴ - پیاپی ۱۱۳ زمستان ۹۵: ۴۲-۲۵

چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی پایداری عملکرد دانه و میزان سازگاری لاین‌های اصلاحی گندم دوروم حاصل از برنامه اصلاحی گندم دوروم در شرایط دیم بود. بر این اساس عملکرد دانه ۲۵ ژنتیک گندم دوروم در ۲۹ محیط دیم و آبیاری تکمیلی طی سه سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۸۹) در ۱۷ استگاه تحقیقات کشاورزی دیم (کرمانشاه، مراغه، قاملو، شیروان، ارومیه، اردبیل و ایلام) با استفاده از روش‌های آماری تک متغیره و چند متغیره مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین اثرات اصلی محیط و اثر متقابل ژنتیک × محیط در سطح احتمال ۱٪ وجود دارد. بزرگی اثرات متقابل ژنتیک × محیط نسبت به اثر ژنتیک حدود ۱۵ برابر بود که بیانگر وجود احتمالی گروه‌های مختلف محیطی برای ژنتیک‌های مورد بررسی می‌باشد. بر اساس آماره‌های پایداری لاین‌های اصلاحی G8، G2، G7، G11 و رقم ساجی دارای ترکیب مناسبی از پایداری و عملکرد بودند. تجزیه گرافیکی اثرات متقابل ژنتیک × محیط با استفاده از مدل GGE با پلات نشان داد که محیط‌های سرد مراغه، اردبیل، قاملو، شیروان و ارومیه از محیط‌های معتدل سرارود و ایلام در شناسایی ژنتیک‌های با سازگاری خصوصی متفاوت می‌باشند. لاین‌های اصلاحی با عملکرد بالا، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته متوسط و زودرسی دارای سازگاری بیشتری به محیط‌های معتدل سرد و معتدل گرم نسبت به محیط‌های سرد بودند. نتایج حاکی از امکان گزینش ژنتیک‌های با پایداری و عملکرد بالا نسبت به شاهدهای آزمایش بود که بیانگر بیبود ژنتیکی در برنامه‌های اصلاحی گندم دوروم برای شرایط متغیر محیطی دیم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اثرات متقابل ژنتیک × محیط، آماره‌های پایداری، GGE با پلات، پایداری و سازگاری

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: rmohammadi95@yahoo.com

مقدمه

افزایش عملکرد یکی از اهداف اصلی در برنامه های اصلاحی است (Fischer, 2007; Reynolds et al., 2009). این افزایش می تواند از طریق افزایش پتانسیل عملکرد تحت شرایط تنفس ملایم (Blum, 2005; Slafer and Araus, 2007) و یا از طریق اصلاح پایداری عملکرد حاصل شود (Pswarayi et al., 2008). در گندم دوروم همانند سایر گیاهان زراعی، پایداری ناکافی عملکرد بعنوان یکی از فاکتورهای مسئول فاصله بین عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل بویژه در محیط‌های تحت تنش شناسایی شده است (Tollenaar and Lee, 2002; Cattivelli et al., 2008).

شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در برنامه های اصلاحی همواره به دلیل تغییرات محیطی در مناطق هدف و اثر متقابل این تغییرات با ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشکل می‌باشد. بنابراین لاین‌های پیشرفته زراعی در برنامه‌های اصلاحی به منظور اطمینان از تولید محصول و پایداری عملکرد بایستی در محیط‌های با شرایط آب و هوایی مختلف و در سالهای متفاوت ارزیابی شوند (Yan and Rajcan, 2002). یک ژنوتیپ معمولاً در محیط‌های مختلف از لحاظ عملکرد واکنش‌های متفاوتی دارد بطوریکه رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر تغییر می‌یابد. این تغییرات که در نتیجه کنش بین ژنوتیپ و محیط ایجاد می‌شود تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط شناخته شده است (Allard and Bradshaw, 1964).

چنانچه اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط معنی دار باشند به نزد گر نیازمند شناسایی ژنوتیپ‌های

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var *durum*) بخش کوچکی معادل ۵٪ از سطح زیر کشت گندم در دنیا و حدود ۱۰٪ از کل تولید گندم را شامل می‌شود. در سالهای اخیر میزان تولید گندم دوروم افزایش یافته و به حدود بیش از ۳۰ میلیون تن رسیده است که اتحادیه اروپا، کانادا و ایالات متحده ۶۰٪ این میزان را تولید می نمایند. گندم دوروم یکی از مهمترین گیاهان زراعی در مناطق سواوانا (Central and West Asia and North Africa (CWANA) و کشورهای حاشیه دریای مدیترانه می‌باشد. منطقه سواوانا سالانه حدود ۱۳ میلیون تن گندم دوروم تولید می‌کند که کشورهای ترکیه، سوریه، مراکش، تونس، الجزایر و ایران ۸۴٪ این میزان را تولید می‌نمایند. بیشتر کشورهای منطقه سواوانا جزء شبکه وارد کننده گندم دوروم هستند. در این منطقه تنها سوریه صادر کننده گندم دوروم و ایران پتانسیل بالایی برای تولید گندم دوروم دارد (Mohammadi and Amri, 2013). برای بهبود تولید عملکرد گندم، ایران از سال ۱۹۹۲ همکاری با مرکز بین المللی برای تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ایکاردا) را آغاز کرده است. در ایران سطح زیر کشت گندم دوروم بین ۳۰۰-۴۰۰ هزار هکتار بوده و میزان تولید سالانه آن بین ۵۰۰-۶۰۰ هزار تن می‌باشد. در ایران گندم تحت شرایط دیم و آبیاری کشت می‌شود و در ایران سطح کشت گندم دیم ۶۷٪ کل سطح زیر کشت گندم است اما تنها ۳۳٪ کل تولید گندم را به خود اختصاص می‌دهد (Mohammadi and Amri, 2013).

(Finlay and Wilkinson, 1963) ، اکو والنس (b) (Rickey, 1962) (W²i) ، آماره های ضریب رگرسیون (|1-b|) و واریانس انحراف از رگرسیون (Eberhart and Russell, (S²di)) (Shukla, 1972) (σ_i²) (Lin and Binns, 1988) (Pi) ، آماره برتری (Yan et al., 2000) و مدل های چند متغیره آماری همچون AMMI بای پلات (Gauch, 1992 and Zobel, 1997) Gauch GGE بای پلات (Lin et al., 1986) ، که اثرات ژنوتیپ، محیط و اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را بر اساس بای پلات ارائه می نمایند، اشاره نمود. این روشها به دو دسته اصلی تک متغیره و چند متغیره تقسیم می شوند (Gabriel, 1971) که مبنی بر تجزیه به مولفه های اصلی می باشد اشاره نمود. در روش بای پلات ژنوتیپها و محیط و اثرات متقابل آنها بطور همزمان در یک گراف که بای پلات نامیده می شود نمایش داده می شوند. نسخه های متنوعی از بای پلات براساس روش های آماری چند متغیره معرفی و بصورت گسترده توسط به نژاد گران گیاهی به منظور تجزیه گرافیکی است (Huehn, 1990; Yab et al., 2000; Gauch, 1992, 2006; Yan and Tinker, 2006). یک نسخه ویژه از بای پلات، GGE (اثر اصلی ژنوتیپ (G) + اثر متقابل ژنوتیپ × محیط (GE)) بای پلات می باشد که بطور همزمان اطلاعات مربوط به اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را در اختیار قرار می دهد.

استفاده از مدل GGE بای پلات برای تجزیه

پایدار با میزان تولید نسبتاً ثابت در دامنه ای از محیط های هدف می باشد. پایداری ممکن است بصورت استاتیکی و یا دینامیکی باشد. پایداری، استاتیکی است اگر ژنوتیپها تمایل به حفظ عملکرد یکسان در همه محیط ها را داشته باشند و دینامیکی است اگر واکنش های عملکرد یک ژنوتیپ دارای یک روال ثابت به تغییرات در محیط ها باشد. بعارت دیگر واکنش یک ژنوتیپ موازی با میانگین عملکرد ژنوتیپها در Becker and Leon, (1988).

تا کنون مدل های آماری زیادی برای تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط پیشنهاد شده اند. این مدل ها از ناپارامتری تا پارامتری تک متغیره و چند متغیره متفاوت می باشد. روش های ناپارامتری که بر مبنای رتبه ژنوتیپها در محیط ها عمل می نمایند نسبت به روش های پارامتری دارای مزایایی هستند. این روشها باعث کاهش میزان اریبی داده از طریق کاهش میزان داده های پرت (outliers) می شوند. نیازمند هیچ فرضی در مورد توزیع فراوانی داده ها نمی باشند. استفاده و تفسیر آنها ساده تر است و حذف و یا اضافه شدن یک یا چند داده تاثیر زیادی بر روی نتایج ندارد (Huehn, 1990). روش های پایداری ناپارامتری بر مبنای رتبه توسط 1990, Nassar and Huhn, 1987) (Huehn, 1979 (Fox et al., 1990), Kang et al., 1988) ، (Thennarasu, 1995) (Yates (and Cochran, 1938) از روش های آماری پارامتری مرتبط با تجزیه پایداری ژنوتیپها می توان به روش

گندم دوروم ساجی (G22)، دو رقم بومی (G23) و گردیش (G24) گندم دوروم زردک (G25) به یک رقم بومی گندم نان سرداری (G26) به مدت سه سال زراعی (۱۳۸۹-۹۲) در هفت ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سرد (مراغه، قاملو، شیروان، ارومیه و اردبیل)، معتدل سرد (سرارود) و معتدل گرم (ایلام) در دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مورد بررسی قرار گرفتند. دلیل استفاده از گندم نان در این تحقیق شناسایی لاینهای گندم دوروم برتر از گندم نان از لحاظ عملکرد و پایداری در برنامه اصلاحی گندم دوروم برای شرایط دیم می‌باشد. آبیاری تکمیلی در ایستگاه‌های سرارود، مراغه و ایلام اعمال گردید. در شرایط آبیاری تکمیلی دو بار آبیاری (جمعاً حدود ۵۰ میلی‌لیتر) از آغاز دوره گلدهی تا رسیدن (مرحله شیری-خمیری) اعمال گردید. آزمایشات در زمینی که سال قبل بصورت آیش بوده کشت شدند. در هر محیط آزمایش‌ها در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید. هر ژنوتیپ در ۶ خط ۶ متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی متر کشت شد. میزان کود مورد نیاز در هر سال بر اساس توصیه کارشناسان خاکشناسی ایستگاه‌های مذکور استفاده شد. در این تحقیق علاوه بر عملکرد دانه از صفات زراعی تعداد روز تا گلدهی، ارتفاع بوته، تعداد روز تا رسیدن فیزیولوژیک و وزن هزاردانه برای هر ژنوتیپ مورد ارزیابی قرار گرفتند، اما تنها از عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به منظور تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط استفاده گردید.

تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه

اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها در آزمایشات چند محیطی در گندم (Yan *et al.*, 2001; Yan and Hunt, 2002) ذرت (Yan and Hunt, 2002; Fan *et al.*, 2007)، سویا (Yan and Rajcan, 2002)، پنبه (Blanche and Myers, 2006 Dimitrios *et al.*, 2008؛) و گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2010) گزارش شده است. با توجه به سادگی تفسیر گرافیکی نتایج حاصل از این مدل امروزه از آن در تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در کشاورزی بصورت گسترده استفاده می‌شود. بنابراین استفاده از مدل GGE با پلات به منظور استخراج اطلاعات موجود در آزمایش‌های ارزیابی پایداری و سازگاری ژنوتیپ‌های زراعی محصولات مختلف در سال‌ها و مکان‌های مختلف مفید می‌باشد. این روش از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به نژادگر کمک می‌نماید تا به سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی نموده و همچنین استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به نژادی را آسان می‌نماید. بنابراین هدف از این تحقیق ارزیابی میزان پایداری عملکرد دانه و سازگاری لاینهای اصلاحی گندم دوروم در مقایسه با ارقام شاهد مورد استفاده توسط کشاورزان در مناطق سرد، معتدل سرد و معتدل گرم دیم کشور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۲۱ لاین اصلاحی گندم دوروم (G1-G21) به همراه یک رقم جدید

بایپلات برای ارزیابی میزان پایداری و انتخاب برای عملکرد و پایداری بطور همزمان و تعین ژنوتیپ‌های ایده‌آل گندم دوروم و همچنین بررسی روابط و خصوصیات محیط‌های مورد آزمایش استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها وجود نداشت (جدول ۱). بین محیط‌ها و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. بزرگی اثرات اصلی برای محیط، اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و ژنوتیپ به ترتیب ۸/۶۹٪، ۶/۱۵٪ و ۱٪ مجموع مربعات کل بود. بزرگی اثرات محیط بیانگر متفاوت بودن محیط‌ها بوده که باعث ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط و ایجاد تنوع در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها گردید. بزرگی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط نسبت به ژنوتیپ حدود ۱۵ برابر بود که حاکی از امکان وجود ابر-محیط‌ها (Gauch, 1997; Yan et al., 2000 and Zobel, 1997) در آزمایشات منطقه‌ای گندم دوروم بود. تاثیر کم ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل می‌باشد که درسال‌های گذشته در برنامه اصلاحی گندم دوروم ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد انتخاب شده و این ژنوتیپ‌های برتر در آزمایشات چند محیطی نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط نقش کمتری در توجیه تنوع موجود داشته‌اند که با سایر نتایج گزارش شده در تطابق بود (Yan et al., 2001; Samonte et al., 2005; Fan et al., 2007; Rose et al., 2008)

با استفاده از نرم افزار GenStat ver. 12 انجام شد. در تجزیه مرکب اثر محیط (ترکیب سال در مکان) تصادفی و اثر ژنوتیپ ثابت در نظر گرفته شد. بنابراین بر اساس مدل مخلوط (Mixed model) تجزیه واریانس داده‌ها انجام شد. از آماره‌های تک متغیره میانگین رتبه (MRank)، واریانس رتبه (VarR)، ضریب رگرسیون $S^2_{di}(b-1)$ و واریانس انحراف از رگرسیون (Eberhart and Russell, 1966 پایداری (Shukla, 1972)، ضریب تغییرات (Francis and Kannenberg, 1978) و آماره برتری لین و بیتر (P_i) برای ارزیابی میزان پایداری ژنوتیپ‌ها و از آماره جمع رتبه (Rank-sum) (Kang, 1988) برای انتخاب همزمان عملکرد و پایداری استفاده شد. با توجه به اینکه میزان کمتر آماره‌های پایداری برای یک ژنوتیپ نشان‌دهنده پایداری آن ژنوتیپ می‌باشد، لذا ژنوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس هر یک از آماره‌های پایداری رتبه بندی شدند. بطوریکه ژنوتیپ با کمترین مقدار هر پارامتر رتبه ۱ و به ژنوتیپ با بیشترین مقدار آماره پایداری بیشترین رتبه (رتبه ۲۵) اختصاص یافت. در مورد عملکرد دانه به ژنوتیپ با بیشترین مقدار رتبه ۱ و به ژنوتیپ با کمترین مقدار رتبه ۲۵ اختصاص یافت. به منظور تحلیل بهتر اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط از تجزیه مدل GGE biplot (Yan, 2001) استفاده شد. از الگوی "Which-win-" where GGE مدل بایپلات به منظور بررسی اثرات متقابل کراس‌اوری و غیرکراس‌اوری و تعیین ابر-محیط‌های احتمالی در برنامه اصلاحی گندم دوروم استفاده شد. همچنین از مدل GGE

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه ۲۵ ژنوتیپ مورد بررسی در ۲۹ محیط

Table 1. Combined analysis of variance for grain yield performance of the 25 wheat genotypes in the 29 testing environments

| Source | Df | Mean squares | | | F | %Total sum of square |
|-------------------|------|-----------------------|-------|---|-------|----------------------|
| | | Value | Model | Expected mean squares | | |
| Environment | 28 | 68272879** | M1 | $\sigma_{e1}^2 + r\sigma_E^2$ | M1/M2 | 69.8 |
| Block/Env. | 58 | 1196275** | M2 | σ_{e1}^2 | - | 2.5 |
| Genotype | 24 | 1159742 ^{ns} | M3 | $\sigma_{e2}^2 + r\sigma_{GE}^2 + re\sigma_G^2$ | M3/M4 | 1.0 |
| G x E interaction | 672 | 635963** | M4 | $\sigma_{e2}^2 + r\sigma_{GE}^2$ | M4/M5 | 15.6 |
| Error | 1392 | 218213 | M5 | σ_{e2}^2 | - | 11.1 |
| Total | 2174 | 1260340 | | | | |

*معنی دار در سطح احتمال ۱٪؛ ns غیر معنی دار

** Significant at the probability level of 1%

^{ns} non-significant

ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از آماره‌های پایداری

عملکرد و لاین‌های اصلاحی G10، G4 و رقم گردیش دارای بدترین میانگین رتبه عملکرد در محیط‌های مورد بررسی بودند. لاین‌های اصلاحی G5، G4 و G16 با کمترین واریانس رتبه (VarR) دارای بیشترین پایداری عملکرد و رقم سرداری و لاین‌های اصلاحی G15 و G21 با بیشترین واریانس رتبه ناپذارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

بر اساس ضریب رگرسیون ($|b-1|$) (Eberhart and Russell, 1966) لاین‌های اصلاحی G10، G16 و G5 پایدار و رقم گردیش (G24) و لاین‌های اصلاحی G8 و G9 ناپایدار بودند. در بین ژنوتیپ‌های ناپایدار، گردیش با کمترین ضریب رگرسیون دارای بیشترین سازگاری به شرایط نامطلوب و لاین‌های اصلاحی G8 و G9 دارای بیشترین سازگاری به شرایط مطلوب (محیط‌های بدون استرس سرما در مناطق سرد) بودند. علاوه بر گردیش ارقام سرداری و زردک به همراه لاین‌های اصلاحی G3 و G13 سازگار به شرایط نامطلوب بودند.

مقادیر آماره‌های پایداری برای ۲۵ ژنوتیپ مورد بررسی در ۲۹ محیط مختلف و رتبه ژنوتیپ‌ها بر اساس هر یک از آماره‌های پایداری در جدول ۲ آمده است. بر اساس میانگین عملکرد برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها، رقم گندم نان سرداری (G25) و لاین‌های اصلاحی گندم دوروم G8 و G11 به ترتیب با ۲۱۷۸، ۲۰۶۶ و ۱۹۹۷ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین میانگین عملکرد و رقم گردیش و لاین‌های اصلاحی G13 و G18 به ترتیب با ۱۵۳۱، ۱۶۲۹ و ۱۶۵۷ کیلوگرم در هکتار دارای کمترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد بررسی بودند. بر اساس آزمون چند دامنه دانکن اختلاف معنی داری بین میانگین عملکرد ژنوتیپها در ۲۹ محیط مورد بررسی وجود نداشت. بر اساس میانگین رتبه‌های عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف رقم سرداری، لاین اصلاحی گندم دوروم G7 و رقم گندم دوروم ساجی دارای بهترین میانگین رتبه (MRank)

فاصله را از مرکز بایپلات دارند توسط خطوط مستقیمی به هم متصل شده‌اند و بقیه ژنوتیپ‌ها در درون چند ضلعی قرار دارند. ژنوتیپ‌هایی که رئوس چندضلعی را تشکیل می‌دهند شامل ژنوتیپ‌های G25، G24، G19، G1، G9، G8 و G11 بودند. این ژنوتیپ‌ها از لحاظ عملکرد دانه بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها می‌باشند زیرا آنها دارای بیشترین فاصله از مرکز بایپلات می‌باشند (Yan and Kang, 2003). بر هر ضلع چند ضلعی یک عمود از مرکز بایپلات رسم می‌شود که بایپلات را به چندین بخش تقسیم می‌نماید که محیط‌ها در بخش‌های یکسان و یا متفاوتی قرار می‌گیرند.

یک جنبه مهم نمایش چندضلعی بایپلات گروه‌بندی محیط‌هاست بطوریکه امکان پیشنهاد گروه‌های محیطی در یک ناحیه (منطقه) را فراهم می‌نماید. بنابراین بر اساس شکل ۱ محیط‌ها به پنج گروه و ژنوتیپ‌ها نیز به پنج گروه تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط‌های مربوط به شیروان (SR11S، R12، AR11 و SR13)، اردبیل (AR12 و QR13)، قاملو (QR12 و KR13)، کرمانشاه (UR11، UR12 و UR13)، ارومیه (KI13)، مراغه (MI12 و MI13)، مربوط به کرمانشاه (KR11)، KR12 و KI12) و ایلام (IR12) بود که ژنوتیپ G25 (سرداری) در این گروه محیطی دارای بیشترین عملکرد بود. گروه دوم محیط‌های مربوط به کرمانشاه (KR11)، KR12 و KI12) بود که ژنوتیپ G8 (سرداری) در این گروه محیطی بود. در این گروه سوم شامل یکی از سه محیط مربوط به

لاین‌های اصلاحی G8، G18 و G5 با کمترین واریانس انحراف از رگرسیون (S^2_{di}) پایدار و ژنوتیپ‌های سرداری، G21 و G20 با بیشترین واریانس انحراف از رگرسیون ناپایدار بودند. بر اساس آماره واریانس پایداری (S_i^2) (Shukla, 1972) لاین‌های اصلاحی G18، G5 و G6 پایدارترین در حالیکه رقم سرداری، لاین G21 و گردیش ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس ضریب تغییرات (CV) سه ژنوتیپ پایدار شامل ارقام زردک، سرداری و لاین G2 و سه ژنوتیپ ناپایدار شامل لاین‌های اصلاحی G7، G9 و G19 بودند. لاین‌های اصلاحی G12، G11 و G14 بر اساس آماره برتری (Pi) پایدار و لاین G18، گردیش و لاین G3 ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند.

بر اساس آماره Rank-sum لاین‌های G8، G7 و G2 و رقم ساجی از لحاظ ترکیب پایداری با عملکرد بالا بهترین و رقم گردیش (G24) و لاین‌های G13 و G21 از لحاظ ترکیب عملکرد و پایداری نامطلوب بودند.

مدل GGE بایپلات

نمایش چندضلعی اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط در آزمایشات چند محیطی بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثرات متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به منظور تفسیر مؤثر بایپلات و مطالعه وجود احتمالی گروه‌های محیطی (ابر-محیط‌ها) در یک منطقه می‌باشد (Gauch and Zobel, 1997; Yan et al., 2000). شکل ۱، نمایش گرافیکی اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط برای ۲۵ ژنوتیپ مورد بررسی در ۲۹ محیط را نشان می‌دهد. در این شکل ژنوتیپ‌هایی که بیشترین

جدول ۲) مقادیر و رتبه میانگین عملکرد و آماره‌های پایداری برای ۲۵ ژنوتیپ گندم مورد مطالعه، اعداد داخل پرانتز رتبه ژنوتیپ‌ها می‌باشند.

Table 2. Rank and values of mean yield and stability parameters for the 25 wheat genotypes.
Figures in parentheses display genotypic rank.

| Genotype Code/Pedigree/ Name | Mean yield (Kg/ha) | Phenotypic stability parameters | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------|----------|-------------------|-----------------------------|------------|----------|-------------|----------|
| | | MRank | VarR | b | S ² di | σ _i ² | CV | Pi | RS | |
| G1 | Breeding line | 1797(16) a | 13.9(17) | 41.2(4) | 1.137(10) | 133247(11) | 143567(11) | 60.1(22) | 708634(16) | 27(14.5) |
| G2 | Breeding line | 1881(7) a | 12.2(11) | 42.4(8) | 0.91(6) | 95686(8) | 98708(4) | 46.3(3) | 676607(12) | 11(2) |
| G3 | Breeding line | 1741(18) a | 13.2(14) | 59.3(22) | 0.798(18.5) | 270071(22) | 293045(21) | 50.5(8) | 930141(23) | 39(22) |
| G4 | Breeding line | 1662(22) a | 16.1(24) | 28.3(2) | 0.836(12) | 84408(4) | 102988(5) | 48.2(5) | 902002(22) | 27(14.5) |
| G5 | Breeding line | 1830(13) a | 11.6(7) | 23.8(1) | 0.983(3) | 82294(3) | 79581(2) | 50.5(9) | 525173(4) | 15(6) |
| G6 | Breeding line | 1813(14) a | 12.8(12) | 44(10) | 1.074(5) | 90431(6) | 91545(3) | 55.5(12) | 594803(9) | 17(7.5) |
| G7 | Breeding line | 1982(4) a | 9.7(2) | 41.5(5) | 1.199(17) | 89577(5) | 118106(9) | 56.2(16) | 500727(1) | 13(3.5) |
| G8 | Breeding line | 2066(2) a | 10.4(4.5) | 47(12) | 1.310(24) | 42522(1) | 117934(8) | 57.6(19) | 780477(20) | 10(1) |
| G9 | Breeding line | 1956(5) a | 13.5(15) | 48.4(13) | 1.307(23) | 206844(17) | 275203(19) | 64.1(24) | 777874(19) | 24(9.5) |
| G10 | Breeding line | 1725(20) a | 16.2(25) | 41.6(6) | 0.985(2) | 199396(16) | 192446(15) | 57.1(18) | 865668(21) | 35(21) |
| G11 | Breeding line | 1997(3) a | 10.4(4.5) | 56.4(20) | 1.17(14.5) | 166743(14) | 183882(14) | 56.2(16) | 508610(2) | 17(7.5) |
| G12 | Breeding line | 1802(15) a | 15.3(20) | 52.5(16) | 1.193(16) | 215545(18) | 237686(17) | 64.5(25) | 691097(14) | 32(19) |
| G13 | Breeding line | 1629(24) a | 14.5(18) | 46.5(11) | 0.707(22) | 226870(19) | 287862(20) | 48.3(6) | 691427(15) | 44(24) |
| G14 | Breeding line | 1880(8) a | 11.7(8) | 43.6(9) | 1.13(9) | 95094(7) | 105286(6) | 56.2(18) | 511296(3) | 14(5) |
| G15 | Breeding line | 1861(10) a | 12.1(10) | 70.7(24) | 1.092(7) | 254244(21) | 251994(18) | 58.9(20) | 731157(18) | 28(16) |
| G16 | Breeding line | 1736(19) a | 15.5(22) | 39.5(3) | 0.99(1) | 161164(13) | 155481(12) | 55.9(14) | 686271(13) | 31(17.5) |
| G17 | Breeding line | 1854(12) a | 13.7(16) | 54.9(19) | 1.170(14.5) | 144678(12) | 162572(13) | 60(21) | 628966(10) | 25(11.5) |
| G18 | Breeding line | 1657(23) a | 15.5(21) | 48.7(14) | 0.982(4) | 77735(2) | 75209(1) | 55.6(13) | 1058874(25) | 24(9.5) |
| G19 | Breeding line | 1695(21) a | 15.2(19) | 53.1(17) | 1.128(8) | 132185(10) | 140678(10) | 63.2(23) | 675913(11) | 31(17.5) |
| G20 | Breeding line | 1857(11) a | 12(9) | 67.7(23) | 0.831(13) | 306645(23) | 318577(22) | 49.6(7) | 567696(8) | 33(20) |
| G21 | Breeding line | 1769(17) a | 12.9(13) | 57(21) | 0.798(18.5) | 356403(24) | 376335(24) | 52.3(10) | 718371(17) | 41(23) |
| G22 | Saji | 1947(6) a | 10.3(3) | 41.9(7) | 1.148(11) | 99974(9) | 114024(7) | 55.2(11) | 538416(5) | 13(3.5) |
| G23 | Zardak | 1866(9) a | 11.5(6) | 51.3(15) | 0.781(20) | 185446(15) | 217182(16) | 43.8(1) | 563394(7) | 25(11.5) |
| G24 | Gerdish | 1531(25) a | 16(23) | 54.3(18) | 0.608(25) | 248732(20) | 362867(23) | 47.9(4) | 930617(24) | 48(25) |
| G25 | Sardari | 2178(1) a | 8.8(1) | 72.7(25) | 0.731(21) | 529546(25) | 568777(25) | 44.5(2) | 541795(6) | 26(13) |

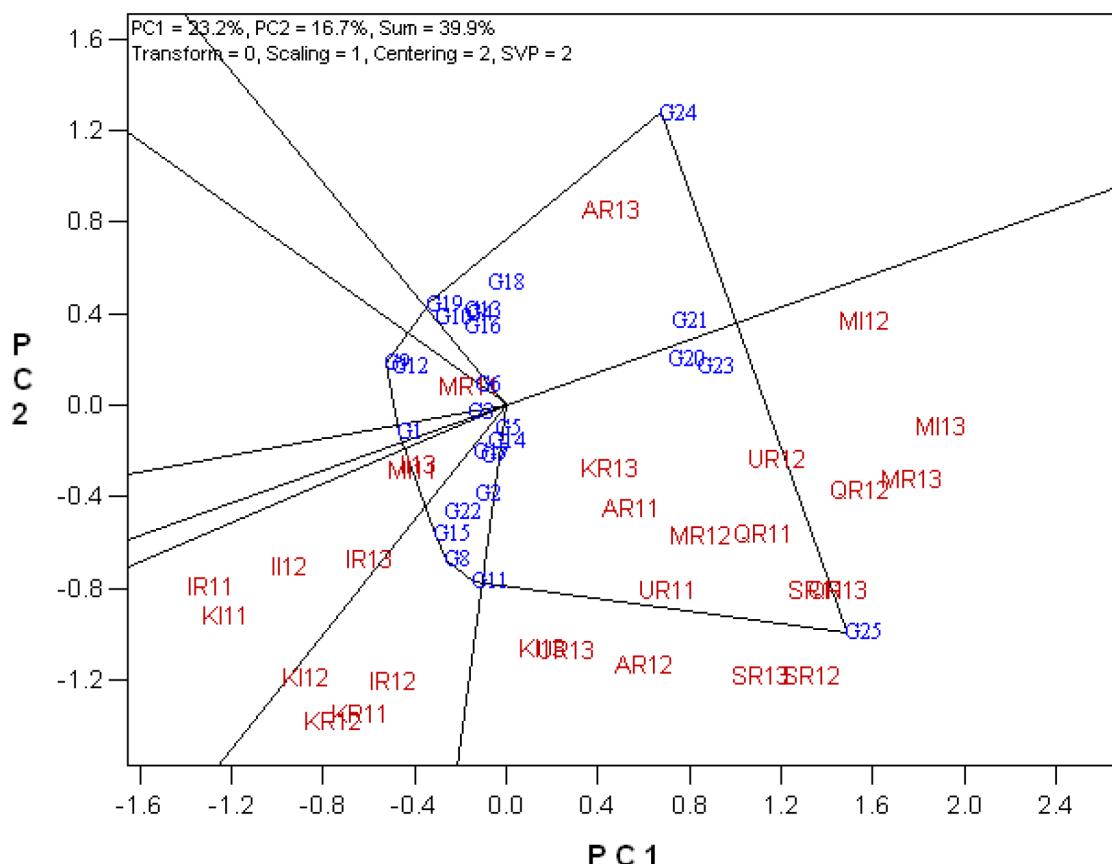
میانگین‌های عملکرد با حروف مقایسه میانگین مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه دانکن ندارند.

Yield means with the same letters are not significantly different at 5% level of probability (Duncan's multiple range test).

MRank: mean of ranks; VarR: variance of ranks; b: regression coefficient; S²di: variance in regression deviation; σ_i²: Shukla's stability variance; CV: coefficient of variation; Pi: superiority index; RS: rank sum

دارای بیشترین میانگین عملکرد نبودند. این نتایج نشان دهنده اثرات متقابل کراس اوری است که در آن رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت می‌باشد (Yan and Tinker, 2006). از طرفی قرارگرفتن برخی از محیط‌ها در گروه های مشابه نشان می‌دهد که رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های یک گروه خاص تغییرات زیادی ندارد که نشان دهنده اثرات متقابل غیر کراس

اردیل (AR13) بود که ژنوتیپ G24 (گردیش) دارای بیشترین عملکرد در این گروه محیطی بود. گروه چهارم شامل یکی از شش محیط مربوط به مراغه (MR11) بود که ژنوتیپ G9 در این گروه محیطی دارای بیشترین عملکرد بود. گروه پنجم شامل محیط‌های ایلام (IR13, IR11, II12) و کرمانشاه (KI11) و مراغه (MI11) بود که هیچکدام از ژنوتیپ‌ها در این گروه محیطی



Which wins where or which is best for what

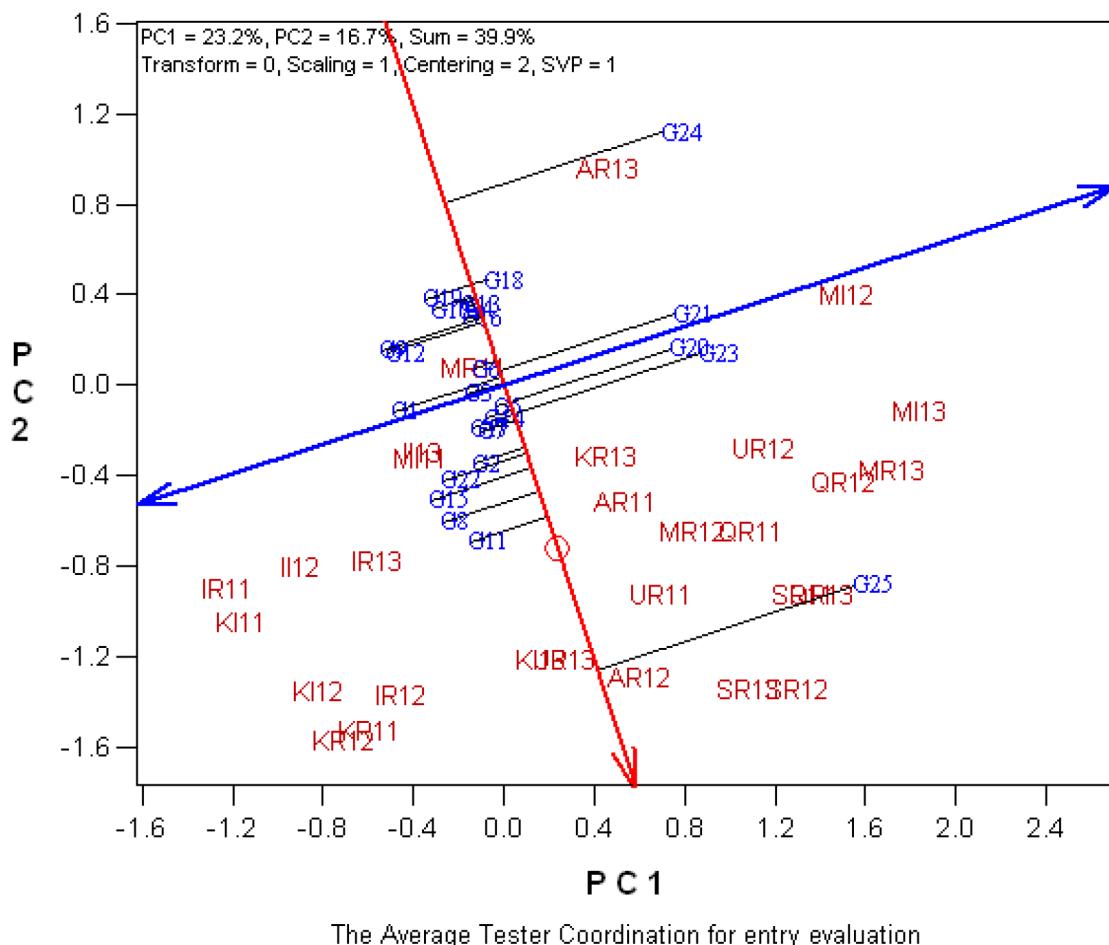
شکل ۱- نمایش گرافیکی GGE با پلات بر اساس ۲۵ ژنوتیپ (G1-G25) (Mورد بررسی در ۲۹ محیط که نشان می‌دهد کدام ژنوتیپ(ها) در کدام محیط(ها) برتر می‌باشد. کدهای محیطی که با حروف K، M، Q، S، U، A، I شروع می‌شوند به ترتیب معرف ایستگاه‌های کرمانشاه، مراغه، قاملو، شیروان، ارومیه، آردبیل و ایلام می‌باشند. حروف R و I در کدهای محیطی (حروف دوم) به ترتیب معرف شرایط دیم و آبیاری تکمیلی می‌باشند. اعداد ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در کدهای محیطی به ترتیب معرف سالهای زراعی ۹۰-۹۱، ۹۱-۹۲ و ۹۲-۹۳ می‌باشند.

Figure 1. Graphical demonstration of GGE biplot based on the 25 investigated genotypes (G1-G25) in the 29 testing environments. Environmental codes beginning with the letters K, M, Q, S, U , A and I are respectively indicative of Kermanshah, Maragheh, Qamloo, Shirvan, Uromich , Ardebil and Ilam stations. The letters R and I in the environmental codes (the second letter) are respectively indicative of rainfed and complementary irrigation conditions. The numbers 11, 12 and 13 in the environmental codes are respectively indicative of the cropping seasons of 2010-2011, 2011-2012 and 2012-2013.

اتفاق رایج است (Yan and Tinker, 2006; Fan et al., 2007; Rao et al., 2013)

رتبه‌بندی ۲۵ ژنوتیپ بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف را نشان می‌دهد. خطی که از مرکز بای‌پلات می‌گذرد و از نقطه ایده‌آل (که نماینده متوسط ضرایب

اوری است. این نتایج نشان می‌دهد که هر دو نوع اثر متقابل کراس اوری و غیر کراس اوری برای عملکرد دانه در آزمایشات چند محیطی گندم دوروم دیم در ایران وجود دارد. به هر حال ترکیب اثرات متقابل کراس اوری و غیر کراس اوری در داده‌های چند محیطی یک



شکل ۲ - مقایسه ۲۵ ژنوتیپ (G1-G25) مورد بررسی در ۲۹ محیط بر اساس عملکرد دانه و پایداری. کدهای محیطی که با حروف K, M, Q, S, U, A و I شروع می شوند به ترتیب معرف ایستگاه های کرمانشاه، مراغه، قاملو، شیروان، ارومیه، اردبیل و ایلام می باشند. حروف R و I در کدهای محیطی (حروف دوم) به ترتیب معرف شرایط دیم و آبیاری تکمیلی می باشند. اعداد ۱۱، ۱۲، ۱۳ در کدهای محیطی به ترتیب معرف سالهای زراعی ۹۰-۹۱، ۹۱-۹۲ و ۹۲-۹۳ می باشند.

Figure 2. Mean comparison based on grain yield and stability for the 25 investigated genotypes (G1-G25) in the 29 testing environments. Environmental codes beginning with the letters K, M, Q, S, U , A and I are respectively indicative of Kermanshah, Maragheh, Qamloo, Shirvan, Uromieh , Ardebil and Ilam stations. The letters R and I in the environmental codes (the second letter) are respectively indicative of rainfed and complementary irrigation conditions. The numbers 11, 12 and 13 in the environmental codes are respectively indicative of the cropping seasons of 2010-2011, 2011-2012 and 2012-2013.

خط AEC عمود و از مرکز بایپلات می گذرد معیار سنجش پایداری ژنوتیپ‌ها می باشد. هر چه ژنوتیپ‌ها از این خط AEC فاصله بیشتری داشته باشند در اثر متقابل نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری خواهند داشت. بر اساس شکل ۲ ارقام سرداری (G25) و گردش (G24) ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند با این تفاوت که

دو مولفه اول اثر متقابل در مدل GGE بایپلات است) می گذرد خط متوسط عملکرد محیطی (AEC= Average Environment Coordinate) نامیده می شود (Yan and Kang, 2003) (نامیده می شود) ژنوتیپ‌هایی که به مرکز دایره که بر روی این خط قرار دارند نزدیکتر باشند دارای عملکرد بیشتری می باشند. خطی (خط دو سر فلش) که بر

استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل بعنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بای پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۳). بنابراین لاین‌های اصلاحی G11، G8، G15، G22 (ساجی) و G2 را می‌توان بعنوان ژنوتیپ‌های که به ژنوتیپ ایده‌آل نزدیکتر می‌باشند و دارای میانگین عملکرد و پایداری بالایی می‌باشند در نظر گرفت. در مقابل ژنوتیپ‌های G24، G19، G18، G10، G13، G4 و G16 بعنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند زیرا دارای بیشترین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل بودند.

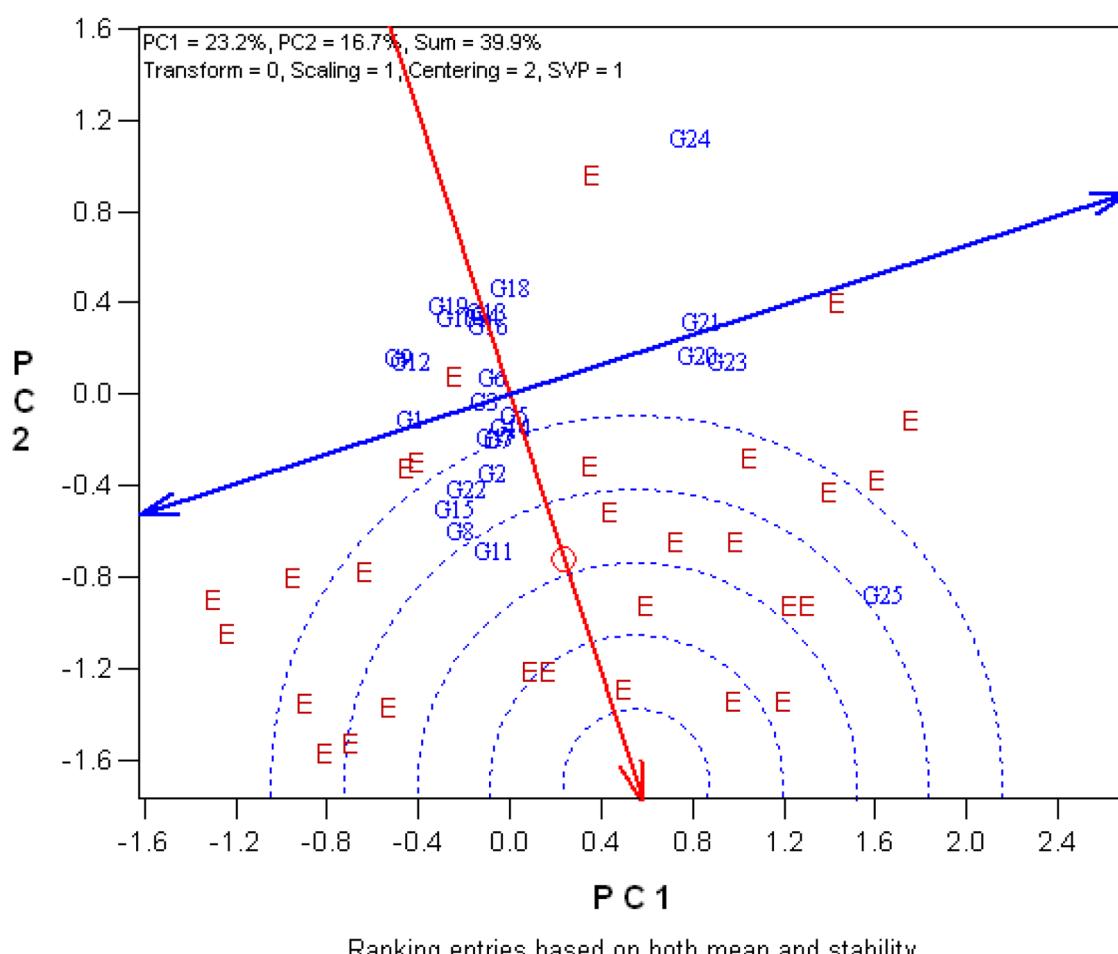
در نمایش بای پلات، کسینوس زاویه بین دو بردار محیطی (خطوطی که مارکرهای محیطی را به مرکز بای پلات وصل می‌کنند) تقریباً برابر است با همبستگی بین دو محیط، که هر چه زاویه بین دو بردار کوچکتر باشد دو محیط همبستگی بیشتری با هم دارند (Yan and Kang, 2003; Yan and Tinker, 2006). اگر زاویه بین بردارهای دو محیط حاده ($>90^\circ$) باشد دو محیط در یک جهت قادر به تفکیک ژنوتیپ‌ها می‌باشند، اما اگر زاویه بین دو محیط منفرجه ($<90^\circ$) باشد دو محیط در دو جهت مخالف هم ژنوتیپ‌ها را از هم تفکیک می‌کنند. بعارت دیگر دو محیط قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های مشابه نیستند. اما اگر زاویه بین دو محیط قائمه (90°) باشد دو محیط از هم مستقل می‌باشند. بر این اساس گروههای محیطی در یک منطقه (که گروهی از مواد ژنتیکی در آنها آزمایش می‌گردد) می‌توانند از هم‌دیگر تفکیک شوند

رقم سرداری دارای بیشترین میانگین عملکرد و رقم گردیش دارای کمترین میانگین عملکرد بود. ژنوتیپ‌های نسبتاً ناپایدار با عملکرد متوسط شامل ژنوتیپ‌های G23 (زردک) و لاین‌های اصلاحی G20 و G21 بودند. ژنوتیپ‌های نسبتاً پایدار با عملکرد بالا شامل لاین‌های اصلاحی G8، G11، G15، G22 (ساجی) و G2 بودند. ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد نسبتاً بالا شامل لاین‌های اصلاحی G1، G14، G4 و G7 بودند. ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد متوسط نیز شامل لاین‌های G5 و G6 بودند. ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد پایین نیز شامل لاین‌های G16، G4، G10، G13 و G19 بودند. استفاده از مدل GGE بای پلات برای ارزیابی پایداری و پایداری-عملکرد ژنوتیپ‌ها در گیاهان زراعی Kang et al., 2000 (Yan et al., 2000) در گندم، (Fan et al., 2007) در لوبيا و (al., 2006) در ذرت مورد استفاده و تأکید قرار گرفته است. یک ژنوتیپ ایده‌آل بایستی دارای بیشترین میانگین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و پایدار نسبت به شرایط محیطی باشد. چنین ژنوتیپی دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در اثر مقابل ژنوتیپ \times محیط می‌باشد. به طریقی که در شکل ۳ بصورت یک دایره کوچک بروی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به آن اشاره شده است. اگر چه چنین ژنوتیپی در عمل وجود ندارد اما می‌تواند بصورت یک مرجع برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد. ژنوتیپی ایده‌آل است که به این مرجع نزدیکتر باشد. بنابراین برای

محیط‌ها که متعلق به کرمانشاه و ایلام می‌باشند در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها مشابه عمل می‌نمایند. در مقابل زاویه بین بردارهای اکثر محیط‌های سرد نیز کمتر از ۹۰ درجه بود. زاویه بین محیط‌های معتدل گرم با محیط‌های سرد بیشتر از ۹۰ درجه بود که نشان می‌دهد این دو گروه از محیط‌ها (محیط‌های گرم و سرد) در تفکیک و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها عکس هم عمل می‌نمایند. این امر نشان می‌دهد که امکان گروه‌بندی محیط‌های گرم ایلام با محیط‌های سرد وجود ندارد، اما بعضی از محیط‌های کرمانشاه با محیط گرم معتدل و

(Gauch and Zobel, 1997). این روش برای تفکیک محیط‌های مشابه از محیط‌های غیر مشابه قبل استفاده قرار گرفته است (Yan et al., 2000; Trethowan et al., 2003; Navabi et al., 2006

بر اساس شکل ۴ تشابه بسیار زیادی بین محیط‌های معتدل سرد و معتدل گرم و همچنین بین محیط‌های سرد بواسطه زاویه حاده بین بردارهای محیطی وجود داشت. زاویه بین بردارهای اکثر محیط‌های معتدل سرد و معتدل گرم کمتر از ۹۰ درجه بود که نشان می‌دهد این



شکل ۳ - ارزیابی ۲۵ ژنوتیپ (G1-G25) مورد بررسی نسبت به ژنوتیپ ایده‌آل
Figure 3. Evaluation of the 25 investigated genotypes (G1-G25) relative to the ideal genotype

در شکل ۴ دایره کوچک نشان داده شده بر روی خط AEC جایی است که بایستی محیط ایدهآل قرار گیرد. این نقطه عنوان محیط ایدهآل مجازی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هر چه طول بردار محیطی بیشتر و فاصله آن به محور AEC کمتر باشد محیط مورد نظر به محیط ایدهآل نزدیکتر می‌باشد (Yan, 2001). بر اساس شکل ۴، محیط‌های AR12 و UR13 KI13 را می‌توان به عنوان محیط‌های ایدهآل برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم در این آزمایش در نظر گرفت. هر چه طول بردار محیطی بیشتر باشد آن محیط توانایی بیشتری در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها دارد، بر این اساس مکانهای شیروان، قاملو، کرمانشاه، ایلام مراغه بطور کلی دارای بیشترین قابلیت در تفکیک و شناسایی اختلاف بین ژنوتیپ‌ها بودند. از لحاظ میزان نمایندگی کردن محیط‌هایی که دارای کوچکترین زاویه با خط AEC می‌باشند شرایط سایر محیط‌ها را بهتر نمایندگی می‌کنند. بر این اساس مکان شیروان دارای بیشترین قابلیت نمایندگی کردن سایر مکانها بود. نمایندگی یک مکان آزمایشی^۱ یک عامل کلیدی برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه آیا مکان مورد نظر می‌تواند برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار گیرد، می‌باشد. البته با فرض اینکه از توانایی تفکیک کافی بین ژنوتیپ‌ها نیز برخوردار باشد (Yan et al., 2007). از طرفی بررسی تکرارپذیری برای میزان نمایندگی مکان‌های آزمایشی نیز ضروری می‌باشد. یک مکان آزمایشی بایستی دارای تکرارپذیری در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها در

بعضی دیگر با محیط‌های سرد همبستگی دارد. شکل ۴ نشان می‌دهد که حداکثر زاویه بین محیط‌های درون مکانی مربوط به هر یک از مکان‌های ایلام، قاملو، شیروان و ارومیه کمتر از ۹۰ درجه بود، اما زاویه بین محیط‌های مربوط به کرمانشاه، مراغه و اردبیل بیشتر از ۹۰ درجه بود که بیانگر بزرگ بودن اثر سال در مکان‌های کرمانشاه، مراغه و اردبیل می‌باشد.

یک محیط ایدهآل بایستی بطور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از محیط هدف باشد. مفهوم محیط ایدهآل برای محیط‌هایی کاربرد دارد که دارای دو خصوصیت عمده باشند: ۱) محیط توانایی بالایی در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپ‌ها داشته باشد و ۲) نماینده‌ای برای محیط‌های دیگر مورد آزمون باشد (Yan and Kang, 2003; Yan and Tinker, 2006). این مفهوم از محیط‌های ایدهآل برای محصولات مختلف از جمله ذرت Robins (Fan et al., 2007)، انواع گراس‌ها (et al., 2008; Blanche et al., 2007) و گندم دوروم (and Myers, 2006; Dimitrios Mohammadi et al., 2010) مورد استفاده قرار گرفته است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر نوع بین ژنوتیپ‌ها بر می‌گردد، اما توانایی نمایندگی یک محیط بیان می‌کند که یک محیط نماینده شرایط سایر محیط‌ها در مطالعه مورد نظر است (Yan and Tinker, 2006; Blanche and Myers, 2006). بنابراین یک محیط ایدهآل باید ترکیبی از این دو خصوصیت را برای توسعه مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد.

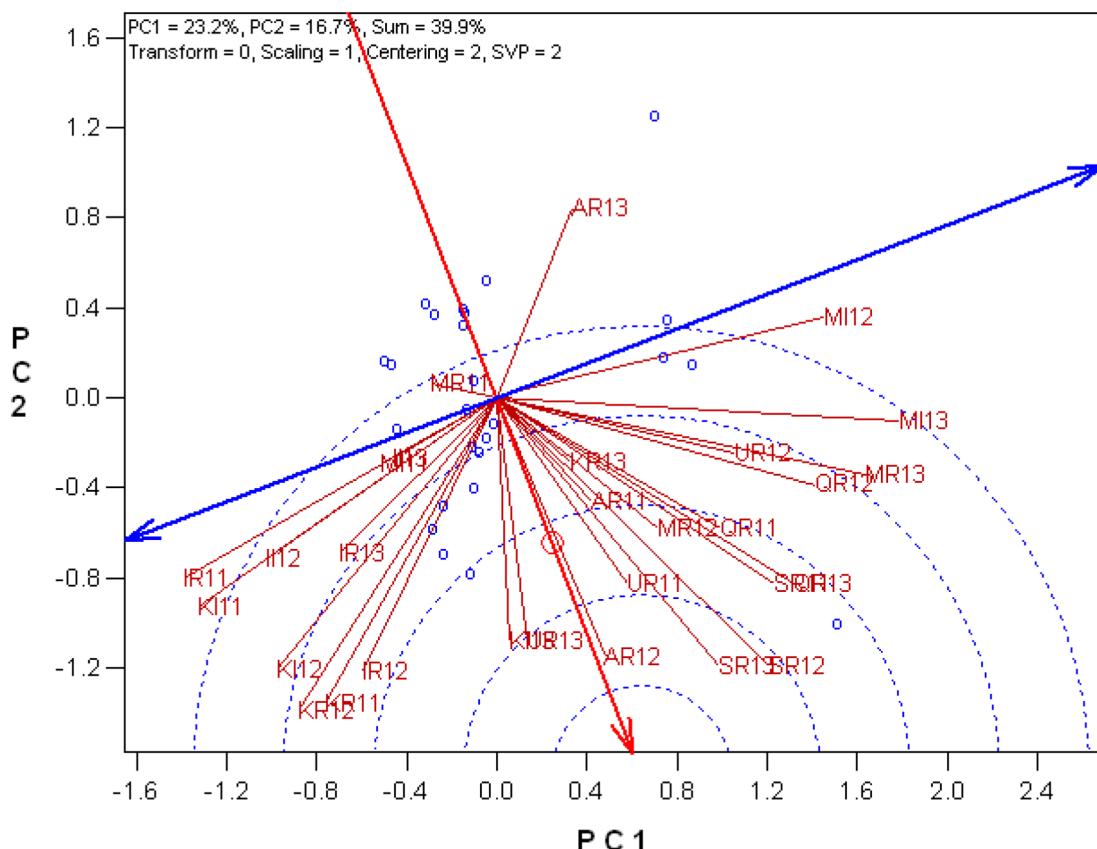
نتایج حاصل از تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط در این پژوهش نشان داد که محیط‌های مورد مطالعه بخش بزرگی از تغییرات موجود در ماتریس اثرات متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌نمایند که بیانگر تفاوت قابل توجه بین محیط‌ها و نقش محیط در اثر متقابل می‌باشد. محیط‌های گرم از محیط‌های سرد کاملاً متمایز بودند. این دو گروه محیطی نقش مهمی در تفکیک بین ژنوتیپ‌ها داشتند. بنابراین با گروه‌بندی محیط‌های مورد مطالعه به محیط‌های سرد و گرم امکان یافتن ژنوتیپ‌های سازگار به هر یک از شرایط محیطی گرم و سرد با استفاده از مدل GGE با پلات فراهم شد. حداکثر زوایه بین محیط‌های مربوط به هر یک از مکان‌های ایلام، قاملو و شیروان بیشتر از ۹۰ درجه نبود. این امر نشان دهنده کمتر بودن اثر سال در این مکان‌ها می‌باشد. بر اساس نتایج GGE با پلات مکان‌های با تکرارپذیری بالا شامل شیروان با نمایندگی بالا، قاملو با نمایندگی متوسط و ایلام با نمایندگی صفر بود. همچنین مکان‌های با تکرارپذیری پایین شامل کرمانشاه و ارومیه با نمایندگی متوسط و اردبیل و مراغه با نمایندگی منفی بودند.

بر اساس نتایج حاصل، لاین‌های اصلاحی G8 و G11 به دلیل داشتن پتانسیل بالای عملکرد و پایداری از رقم شاهد ساجی برتر بودند و بعنوان ژنوتیپ‌های امیدبخش در صورت داشتن کیفیت دانه بهتر از ساجی (پرتوئین دانه رقم ساجی ۱۳٪ است) می‌توانند جایگزین رقم ساجی شوند. در این پژوهش متوسط عملکرد رقم ساجی ۱۹۴۷ کیلوگرم در هکتار بود که

سال‌های مختلف باشد تا بعنوان یک مکان با نمایندگی خوب در نظر گرفته شود. اگر زاویه بین سال‌ها برای یک مکان آزمایشی حاده باشد آن مکان آزمایشی دارای تکرارپذیری بالایی می‌باشد. چنین مکانی اگر با محور میانگین محیطی (AEC) دارای زاویه حاده کوچک باشد دارای نمایندگی بالایی برای سایر مکان‌های آزمایشی خواهد بود. اما اگر زاویه آن بزرگ‌تر باشد دارای نمایندگی پایین تا متوسط خواهد بود. اگر دارای زاویه قائم‌به با محور AEC باشد میزان نمایندگی آن صفر خواهد بود و اگر دارای زاویه منفرجه با محور AEC باشد میزان نمایندگی آن منفی خواهد بود (Yan et al., 2011). با توجه به موارد اشاره شده مکان شیروان یک مکان با نمایندگی بالا و تکرارپذیری بالا بود. بنابراین این مکان برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر مناسب می‌باشد. مکان قاملو یک مکان با نمایندگی متوسط و با تکرارپذیری بالا بود (شکل ۴). این مکان یک مکان مناسب برای مشخص کردن و حذف ژنوتیپ‌های ناپایدار می‌باشد. مکان ایلام یک مکان با نمایندگی صفر و تکرارپذیری بالا بود. در این مکان باستی شدت انتخاب پایین در نظر گرفته شود. مکان‌های کرمانشاه و ارومیه دارای نمایندگی پایین تا متوسط و با تکرارپذیری پایین بودند. از این مکان‌ها باستی برای حذف ژنوتیپ‌های ناپایدار استفاده شود و شدت انتخاب پایین در نظر گرفته شود. مکان‌های اردبیل و مراغه نیز دارای نمایندگی منفی و تکرارپذیری پایین بودند. چنین مکان‌هایی نبایستی مبنای انتخاب ژنوتیپ‌ها قرار گیرند.

(G8) نسبت به شاهدهای آزمایش وجود دارد که بیانگر بهبود ژنتیکی برای عملکرد و پایداری بطور همزمان در برنامه‌های اصلاحی گندم دوروم تحت شرایط متغیر محیطی دیم می‌باشد.

با لاین‌های G8 و G11 به ترتیب ۲۰۶۶ و ۱۹۵۶ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی داری نداشت. نتایج حاصل نشان داد که امکان گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد و پایداری بالا (G11 و



شکل ۴- روابط بین محیط‌ها و مقایسه محیط‌ها از نظر "قابلیت تفکیک" بین ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن "آنها"
Figure 4. The relationships among the testing environments and comparison of the environments in term of their genotypic discriminating ability and representativeness

Reference

- Allard, R.W. and Bradshaw, A.D. (1964) Implication of genotype–environmental interaction in applied plant breeding. *Crop Science* 5: 503–506.
- Becker, H.C. and Leon, J. (1988) Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1–23.
- Blanche, S.B. and Myers, G.O. (2006) Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science* 46: 946–949.
- Blum, A. (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* 56:1159–1168.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A. and Stanca, A.M. (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomic. *Field Crops Research* 15:1–14.
- Dimitrios, B., Christos, G., Jesus, R. and Eva, B. (2008) Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agronomy Journal* 100: 1230–1236.
- Eberhart, S.A. and Russell, W.A. (1966) Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36–40.
- Fan, X.M., Kang, M.S. Chen, H., Zhang, Y., Tan, J. and Xu, C. (2007) Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal* 99: 220–228.
- Finlay, K.W. and Wilkinson, G.N. (1963) The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742–754.
- Fischer, R.A. (2007) Understanding the physiological basis of yield potential in wheat. *Journal of Agricultural Science* 145: 99–113.
- Fox, P.N., Skovmand, B., Thompson, B.K., Braun H.J. and Cormier, R. (1990) Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica* 47: 57–64.
- Francis, T.R. and Kannenberg, L.W. (1978) Yield stability studied in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 1029–1034.
- Gabriel, K.R. (1971) The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453–467.
- Gauch, H.G. (1992) Statistical Analysis of Regional Yield Trials: AMMI Analysis of Factorial Designs. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands.
- Gauch, H.G. (2006) Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46: 1488–1500.
- Gauch, H.G. and Zobel, R.W. (1997) Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science* 37: 311–326.
- Kang, M.S. (1988) A rank-sum method for selecting high yielding stable corn genotypes. *Cereal Research Communications* 16: 113–115.
- Kang, M.S., Aggarwal V.D. and Chirwa, R.M. (2006) Adaptability and stability of bean cultivars as determined via Yield Stability statistic and GGE Biplot Analysis. *Journal of Crop Improvement*, 15: 97–120.

- Huehn, M. (1979) Beitrage zur erfassung der phanotypischen stabilitat. EDV Med. Biol 10: 112–117
- Huehn, M. (1990) Non-parametric measures of phenotypic stability: part 1. Theory, Euphytica 47: 189–194.
- Lin, C.S. and Binns, M.R. (1988) A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. Canadian Journal of Plant Science 68: 193–198.
- Lin, C.S., Binns, M.R. and Lefcovitch, L.P. (1986) Stability analysis: Where do we stand? Crop Sci. 26: 894–900.
- Mohammadi, R. and Amri, A. (2013) Genotype x environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran, Euphytica 192: 227–249.
- Nassar, R. and M. Huhn. (1987) Studies on estimation of phenotypic stability: Tests of significance for nonparametric measures of phenotypic stability. Biometrics 43: 45–53.
- Navabi, A., Yang, R., Helm J. and Spaner, D.M. (2006) Can spring wheat-growing megaenvironments in the northern great plains be dissected for representative locations or niche adapted genotypes? Crop Science 46: 1107–1116.
- Pswarayi, P. and F.A. van Eeuwijk, S. Ceccarelli, S. Grando, J. Comadran, J.R. Russell, E. Francia, N. Pecchioni, O. Li-Destri, T. Akar, A. Al-Yassin, B.A. Enbelkacem, W. Choumane, M. Karrou, H. Ouabbou, J. Bort, J.L. Araus, J.L. Molina-Cano, W.T.B. Thomas and I. Romagosa. (2008) Barley adaptation and improvement in the Mediterranean basin. Plant Breeding 127: 554–560
- Rao, P.S., Reddy, P.S., Ratore, A., Reddy, B.V.S. and Panwar, S. (2011) Application GGE biplot and AMMI model to evaluate sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) hybrids for genotype x environment interaction and seasonal adaptation. Indian J Agric Sci 81: 438–444.
- Reynolds, M., Foulkes, M.J., Slafer, G.A., Berry, P., Parry, M.A.J., Snape, J.W. and Angus, W.J. (2009) Raising yield potential in wheat. Journal of Experimental Botany 60: 1899–1918.
- Robins, J.G., Waldron, B.L., Vogel, K.P., Berdahl, J.D., Haferkamp, M.R., Jensen, K.B., Jones, T.A., Mitchell, R. and Kindiger, B.K. (2007) Characterization of testing locations for developing cool-season grass species. Crop Science 47: 1004–1012.
- Rose, I.V.L.W., Das, M.K. and Taliaferro, C.M. (2008) A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. Euphytica 164: 19–25.
- Samonte, S.O.P.B., Wilson, L.T., McClung, A.M. and Medley, J.C. (2005) Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. Crop Science 45: 2414–2424.
- Shukla, G.K. (1972) Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity 29: 237–245.
- Slafer, G.A. and J.L. Araus. (2007) Physiological traits for improving wheat yield under a wide range of conditions. In: Spiertz JHJ, Struik PC, van Laar HH (eds) Scale and complexity in plant systems research: gene–plant–crop relations. Springer, Dordrecht, pp 147–156.
- Thennarasu, K. (1995) On certain non-parametric procedures for studying genotype-environment interactions and yield stability. Ph.D. thesis. PJ School, IARI, New Delhi, India
- Tollenaar, M. and Lee, E.A. (2002) Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. Field Crops Research 75: 161–169.

- Trethewan, R.M., van Ginkel, M., Ammar, K., Crossa, J., Payne, T.S., Cukadar, B., Rajaram, S. and Hernandez, E. (2003) Associations among twenty years of international bread wheat yield evaluation environments. *Crop Science* 43: 1698–1711.
- Wricke, G. (1962) Über eine methode zur refassung der okologischen streubrette in feldversuchen, *Flazenzuecht* 47: 92–96.
- Yan, W. (2001) GGE biplot—A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal* 93: 1111–1118.
- Yan, W. and Kang, M.S. (2003) GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q. and Szlavnics, Z. 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597–605.
- Yan, W., D., Pageau, J.A. Frégeau-Reid and Durand J. (2011) Assessing the representativeness and repeatability of test locations for genotype evaluation. *Crop Science* 51: 1603–1610.
- Yan, W. and Rajcan, I. (2002) Biplot Analysis of Test Sites and Trait Relations of Soybean in Ontario. *Crop Science*, 42: 11–20.
- Yan, W. and Tinker, N.A. (2006) Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86:623–645.
- Yates, F., and Cochran, W.G. (1938) The analysis of groups of experiments. *Journal Agricultural Science* 28: 556–580.

Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines

R.Mohammadi^{*1}, M.Armion², B.Sadeghzadeh³, S. Golkari³, Gh. Khalilzadeh⁴, H. Ahmadi⁵, Gh, Abedi-Asl⁶, M, Eskandari⁷

1. Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Sararood Branch, AREEO, P O Box 67145-1164, Kermanshah, Iran
2. Ilam Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ilam, Iran
3. Dryland Agricultural Research Institute (DARI), AREEO, Maragheh, Iran
4. West Azarbajian Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Urmia, Iran
5. Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Sanandaj, Iran
6. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ardabil, Iran
7. North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Shirvan, Iran

Received: November 2016 Accepted: July 2017

Extended Abstract

Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, GH., Ahmadi, H., Abedi-Asl, GH., Eskandari, M. Assessment of grain yield stability and adaptability of ranfed durum wheat breeding lines

Applied Field Crops Research Vol 29, No. 4, 2016 P: 07-10: 25-42(in Persian)

Introduction: Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) makes up only 5% of the world's total cultivated wheat area and contributes about 10 % to the total global wheat production. In recent years, the production level of durum wheat has risen to more than 30 million tons with EU, USA and Canada together representing 60% of the production. Durum wheat in Iran is grown on 300-400 thousand hectares with an average annual production of 500-600 thousand tons. Iran has been cooperating with International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) on increasing wheat production since 1992. Increase in yield is one of the primary aims pursued in plant breeding programs (Reynolds *et al.*, 2009). This can be achieved through increasing yields under mild stress conditions or improving yield stability (Blum, 2005). Similar to other crops, insufficient yield stability in durum wheat is recognized as a one of the factors responsible for the gap between actual yield and potential yield, particularly in the stressful environments (Cattivelli *et al.*, 2008). In breeding programs, the identification of superior genotypes is difficult due to environmental variability of target locations and the interaction of these variabilities with the investigated genotypes. Therefore, it is important to evaluate the advanced agronomic lines across various environments and over multiple years to ensure their yield stability and production (Yan and Rajcan, 2002). A genotype typically gives differential yield responses

Email address of the corresponding author: rmohammadi95@yahoo.com

in different environments so that its ranking varies across various environments. These yield variabilities, which stem from the interaction between genotype (G) and environment (E), are known as genotype x environment interaction (GE) (Allard and Bradshaw, 1964). Many statistical models have been suggested to analyze GxE interaction. GGE (genotype plus genotype-by-environment) biplot method proposed by Yan *et al.* (2000) is a multivariate model, which is based on principal component analysis, that simultaneously represents G, E and GxE interaction on a graph known as biplot. GGE biplot is widely used in agricultural research as it provides a simple graphical interpretation of GxE interaction. The aim of the study was to evaluate grain yield stability and adaptability in some improved durum wheat lines relative to the check cultivars grown under rainfed conditions by farmers in the cold, mild cold and moderate warm regions of Iran.

Materials and Methods :Twenty one improved durum wheat lines (G1-G21) along with newly released durum wheat cultivar Saji (G22), two local durum wheat cultivars Zardak (G23) and Gardish (G24) as well as one local bread wheat cultivar Sardari were investigated for three cropping seasons (2011-2013) at seven Agricultural Research Stations (Maragheh, Qamloo, Shirvan, Uromieh and Ardebil with a cold climate, Sararood with a mild cold climate and Ilam with a moderate warm climate) under rainfed and complementary irrigation conditions. The experimental design at all locations was a randomized complete block with three replicas. Some agronomic attributes such as the number of days until anthesis, plant height, the number of days till physiological maturity, 1000-kernel weight and grain yield were determined for each genotype. However, only the grain yield data was used to analyze GxE interactions. Combined analysis of variance for grain yield was performed using GenStat (ver.12) software. For the combined analysis, the environments (location–year combination) were considered as random effects and the genotypes were regarded as fixed effects. Hence, the analysis of variance was carried out based on a mixed-design model. The GGE biplot methodology was employed to analyze GxE interaction (Yan, 2001). To determine probable mega environments, the which-won-where pattern of the GGE biplot was used in the durum wheat breeding program. Also the GGE biplot model was used for the following purposes; (i). evaluation of yield stability, (ii). the simultaneous selection for yield and stability, (iii). identification of ideal durum wheat genotypes, (iv). assessment of the characteristics of and relationships among the testing environments.

Results and discussion: The combined analysis of variance showed significant differences among the main effects due to E and G and G × E interaction. The sum

of squares of GE interaction was 15 times larger than that of the genotypes, suggesting the possible existence of mega-environmental groups for the genotypes. Grouping of the environments was not repeatable among the years. Many of the wheat durum breeding lines exhibited a high combination of yield and stability across both drought and cold environments, comparable to check cultivars. The evaluation of genotypes based on phenotypic stability statistics showed that the breeding lines G8, G2, G7 and G11 and the cultivar Saji outperformed the other genotypes in terms of the best combination of high yield and good stability. Graphic analysis of GE interaction using the GGE biplot model indicated that the cold environments of Maragheh, Ardebil, Qamloo, Shirvan and Uromia differed from the mild cold and moderate warm environments of Kermanshah and Ilamin in identifying specific adapted genotypes. The wheat breeding lines, which gave higher yields and had a greater average 1000-kernel weight and plant height as well as maturity earliness, were found to be more adapted to the moderate environments rather than the cold environments. Because of the lower mean yield in the colder environments, there was clear discrimination between cold-tolerant (old varieties i.e., Zardak and Sardari) and cold-susceptible (i.e., breeding lines) genotypes. Clear discrimination was possible for drought because the trials were conducted under both rainfed and irrigated conditions. Positive increase in yield and yield stability of the breeding lines compared to the check cultivars indicated genetic improvement for both high yield and stability performance in the durum wheat breeding program. Based on GGE biplot analysis, the locations with high repeatability were Shirvan with high representativeness, Qamloo with average representativeness and Ilam with zero representativeness. Locations with low repeatability included Kermanshah and Uromieh with average representativeness and Ardabil and Maragheh with negative representativeness. These results verified high GE interaction in some locations (i.e. Ardabil and Maragheh) compared to others (i.e., Shirvan, Qamloo and Ilam).

Conclusion: The current durum wheat selection program may lead to yield stability and specific adaptation. This will provide opportunities for genetic improvement of both drought and cold tolerance characteristic in durum wheat.

Key words: Environment, genotype, GE interaction, phenotypic stability statistics, GGE biplot

References

- Allard, R.W. and Bradshaw, A.D. (1964) Implication of genotype–environmental interaction in applied plant breeding. *Crop Science* 5: 503–506.
- Blum, A. (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Ag-*

- ricultural Research 56:1159–1168.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A. and Stanca, A.M. (2008) Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomic. Field Crops Research 15:1–14.
- Reynolds, M., Foulkes, M.J., Slafer, G.A., Berry, P., Parry, M.A.J., Snape, J.W. and Angus, W.J. (2009) Raising yield potential in wheat. Journal of Experimental Botany 60: 1899–1918.
- Yan, W. and Rajcan, I. (2002) Biplot analysis of test sites and trait Relations of soybean in Ontario. Crop Science, 42: 11–20.