

تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط برای عملکرد دانه در گندم دوروم

رضا محمدی*^۱، محمد آرمیون^۲، اسماعیل زادحسن^۳ و مسعود اسکندری^۴

۱- معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم- کرمانشاه

۲- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، ایلام

۳- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور

۴- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، خراسان شمالی

چکیده

این تحقیق به منظور تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط ($G \times E$) برای عملکرد دانه در آزمایشات چند محیطی گندم دوروم در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم کشور با استفاده از مدل‌های آماری GGE بای پلات (اثر ژنوتیپ + اثر متقابل $G \times E$) و رگرسیون توام (ضریب رگرسیون + واریانس انحراف از رگرسیون) انجام شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، سهم اثرات اصلی محیط، اثر متقابل $G \times E$ و اثر ژنوتیپ به ترتیب ۸۴٪، ۷/۷٪ و ۲/۳٪ تغییرات کل بود. تجزیه همبستگی بین محیط‌ها نشان داد که گروه محیط‌های مربوط به مراغه و شیروان (اقلیم سرد) از گروه محیط‌های مربوط به ایلام (اقلیم گرم) از نظر رتبه‌بندی و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها متفاوت بودند. در حالیکه محیط‌های مربوط به کرمانشاه (اقلیم معتدل) با هر دو گروه محیطی بسته به سال زراعی همبستگی معنی‌دار نشان دادند. بر اساس مدل GGE بای پلات، ژنوتیپ‌های G21 (ساجی)، G11 و G16 دارای ترکیب بالایی از پایداری و عملکرد بودند. بر اساس GGE بای پلات ژنوتیپ‌های G4، G13 و G16 پایدار و ژنوتیپ‌های G23 و G22 ناپایدار بودند. بر اساس رگرسیون توام ژنوتیپ‌های G7، G18، G17 و G19 با بیشترین ضریب رگرسیون دارای سازگاری به شرایط مطلوب و ژنوتیپ‌های G23 و G22 با کمترین ضریب رگرسیون دارای سازگاری به شرایط نامطلوب بودند. ژنوتیپ‌های G16 و G8 با کمترین واریانس انحراف از رگرسیون دارای پایداری استاتیکی به محیط‌های مختلف بودند و ژنوتیپ‌های G1، G23 و G4 ناپایدار بودند. ژنوتیپ‌های G5، G16 و G18 بر اساس رگرسیون توام دارای ترکیب مناسبی از عملکرد و پایداری بودند. هر دو مدل GGE بای پلات و رگرسیون توام لاین اصلاحی G16 را بعنوان ژنوتیپ پایدار با عملکرد بالا و ژنوتیپ G23 بعنوان ژنوتیپ ناپایدار با عملکرد پایین شناسایی نمودند. بر اساس نتایج حاصل، روش GGE بای پلات نسبت به روش رگرسیون توام به دلیل ارائه اطلاعات بیشتر ابزار مناسب‌تری برای مطالعه و تفسیر اثرات متقابل $G \times E$ بود.

واژه‌های کلیدی: $G \times E$ ، پایداری و سازگاری، GGE بای پلات، رگرسیون توام

مقدمه

ارزیابی لاین‌های پیشرفته اصلاحی در محیط‌های مختلف این امکان را فراهم می‌کند که محیط‌ها از نظر پاسخ‌های مشابه به گروه‌های مشابه گروه‌بندی و بهترین ژنوتیپ را برای هر گروه محیطی و از طرفی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا را برای محیط‌های مختلف معرفی شوند (Yan *et al.*, 2000). تاکنون پارامترهای آماری زیادی برای تجزیه اثر متقابل $G \times E$ ارائه شده است. از جمله این پارامترها می‌توان به روش بیتز و کوکران (۱۹۳۸)، آماره θ_i پلیستد و پترسون (۱۹۵۹)، ضریب رگرسیون ابرهات و راسل (۱۹۶۶) و فیلی و ویلکینسون (۱۹۶۳)، اکووالانس ریک (W²i) (۱۹۶۲)، آماره واریانس انحراف از رگرسیون (S^2_{di}) ابرهات و راسل (۱۹۶۶)، پارامترهای β_i و δ^2_{ip} پرکینز و جینکز (۱۹۶۸)، واریانس پایداری شوکلا (σ_i^2) (۱۹۷۲)، آماره‌های ناپارامتری ($S_2^{(2)}, S_1^{(1)}$) نصار و هان (۱۹۸۷) و مدل‌های بای‌پلات (Gabriel, 1971; Gauch and Zobel, 1988; Yan *et al.*, 2000) که بر مبنای تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌باشند، اشاره نمود.

این روشها را می‌توان به دو دسته اصلی تک متغیره و چندمتغیره تقسیم‌بندی نمود (Lin *et al.*, 1986). از میان روشهای تک متغیره روش رگرسیون توام قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روش تجزیه اثرات متقابل $G \times E$ است (Yates and Cochran, 1938; Becker and Leon, 1988; Romagosa and Fox, 1993). از مزایای این مدل سادگی محاسبه آن و تفسیر راحت اثرات متقابل $G \times E$ می‌باشد. این روش بر مبنای محاسبه ضریب رگرسیون و واریانس انحراف از رگرسیون استوار است و بر اساس آن می‌توان ژنوتیپهای پایدار و ژنوتیپهای سازگاری به

لاین‌های پیشرفته گیاهان زراعی در برنامه‌های اصلاحی به منظور اطمینان از تولید محصول و پایداری عملکرد بایستی در مکان‌هایی با شرایط آب و هوایی مختلف و در سال‌های متفاوت ارزیابی شوند. یک ژنوتیپ معمولاً "در محیط‌های مختلف از لحاظ عملکرد واکنش‌های مختلفی دارد بطوریکه رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر متفاوت است. این تغییرات که در نتیجه کنش بین ژنوتیپ و محیط ایجاد می‌شود تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط ($G \times E$) شناخته شده است (Allard and Bradshaw, 1964).

وجود اثر متقابل $G \times E$ ، مهمترین چالش فراروی به‌نژادگران گیاهی است. تفسیر اثرات متقابل، شناسایی محیط‌های هدف و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب با سازگاری خصوصی و عمومی برای محیط‌های مورد مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار عملکرد در سال‌های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپ‌ها در سال‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد. وجود اثر متقابل $G \times E$ به‌نژادگران گیاهی کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، مکان‌های غیرضروری را حذف نموده که این امر در نهایت موجب کاهش عمده هزینه‌ها می‌شود (Shafii *et al.*, 1992; Kang and Magari, 1996; Baisford and Cooper, 1998). بنابراین ارزیابی ژنوتیپ‌های حاصل از برنامه‌های اصلاحی در سطح ملی به منظور تجزیه اثرات متقابل $G \times E$ و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار به شرایط اقلیمی مختلف نقش مهمی در تعیین ژنوتیپ‌های مناسب برای محیط‌های هدف دارد.

بر اساس توانایی در تمییز بین ژنوتیپ‌ها و میزان نمایندگی برای سایر محیط‌ها آنها را گروه‌بندی نمود (Yan and Tinker, 2005). همچنین محیط‌های مشابه و محیط‌هایی که برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مناسب می‌باشند را می‌توان بصورت گرافیکی گروه‌بندی نمود. بعلاوه GGE بای‌پلات قادر به تعیین و شناسایی الگوهای "کدام ژنوتیپ(ها) برای کدام محیط(ها)"^۱ مناسب است، می‌باشد که در تعیین مگا-محیط‌ها^۲ و توصیه ژنوتیپ‌های ویژه برای هر یک از مگا-محیط‌ها مهم است (Yan and Tinker, 2005). یک مگا-محیط به گروهی از محیط‌ها اطلاق می‌شود که یک یا چند ژنوتیپ یکسان در آن مگا-محیط بهترین عملکرد (واکنش محیطی) را داشته باشند (Yan and Rajcan, 2002). با توجه به مزیت‌های روش GGE بای‌پلات استفاده از این مدل برای تجزیه اثرات متقابل G×E پیشنهاد شده است (Yan et al., 2000; Yan, 2001, 2002; Crossa et al., 2002; Yan and Kang, 2003; Butron et al., 2004; Samonte et al., 2005; Fan et al., 2007; Laffont et al., 2007).

شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با عملکرد بالا مهمترین هدف برنامه‌های اصلاحی تحت شرایط محیطی متغیر می‌باشد. استفاده از روش‌های آماری و تعیین بهترین مدل‌های آماری به منظور نیل به اهداف اصلاحی در برنامه‌های اصلاح نباتات کلاسیک ابزار مناسبی جهت کمک به اصلاحگر در ارزیابی مواد ژنتیکی در دست مطالعه می‌باشد. بنابراین هدف از این تحقیق تجزیه اثرات متقابل

شرایط محیطی مختلف را شناسایی نمود. از میان روش‌های چند متغیره می‌توان به روش بای‌پلات (Gabriel, 1971) که بر مبنای تجزیه به مولفه‌های اصلی است اشاره نمود. در روش بای‌پلات اثر ژنوتیپ، محیط و اثرات متقابل آنها به طور همزمان در یک شکل که بای‌پلات نامیده می‌شود نمایش داده می‌شوند. نسخه‌های متنوعی از بای‌پلات بر اساس روش‌های آماری چند متغیره معرفی و از آنها به صورت گسترده توسط اصلاح‌گران نباتات به منظور تجزیه گرافیکی اثرات متقابل G×E استفاده شده است (Gauch, 1992, 2006; Yan et al., 2000; Yan and Tinker, 2006). یک نسخه ویژه از بای‌پلات، GGE بای‌پلات می‌باشد که به طور همزمان اطلاعات مربوط به اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل G×E را در اختیار قرار می‌دهد. اصطلاح "GGE بای‌پلات" اولین بار توسط یان و همکاران (۲۰۰۰) معرفی و مورد استفاده قرار گرفت اما این روش بای‌پلات قبلاً در کارهای گزارش شده توسط کمپتون (۱۹۸۴) و کوپر و دلای (۱۹۹۴) نیز آمده است.

GGE بای‌پلات که به طور همزمان اثرات اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل G×E را بررسی می‌کند بصورت گرافیکی می‌تواند به سوالات زیادی در مورد ژنوتیپ‌ها و محیط‌های آزمایشی پاسخ دهد (Yan et al., 2000; Yan, 2001; Yan and Kang, 2003). با این روش می‌توان ژنوتیپ‌ها را بر اساس عملکرد در محیط‌های جداگانه، تمام محیط‌ها، ترکیب پایداری و عملکرد، سازگاری خصوصی و سازگاری عمومی ارزیابی نمود. همچنین می‌توان همزمان محیط‌ها را به طور گرافیکی ارزیابی نموده و

1- Which-wins-where
2- Mega-environments

این تحقیق استفاده شده است. به منظور تجزیه اثرات متقابل $G \times E$ و ارزیابی میزان پایداری و سازگاری ژنوتیپها از آماره‌های تجزیه رگرسیون توام (Yates and Cochran, 1938; Romagosa and Fox 1993) شامل ضریب رگرسیون (bi) و واریانس انحراف از رگرسیون (S^2di) (Eberhart and Russell, 1966) استفاده گردید. بر این اساس، ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون بیشتر ($b > 1$) به شرایط مطلوب سازگاری بیشتر، ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون کمتر ($b < 1$) به شرایط نامطلوب سازگارتر و ژنوتیپ‌های با ضرایب رگرسیون $b = 1$ دارای واکنش متوسط به محیط‌ها بوده و پایدارترند (Finlay and Wilkinson, 1963; Lin and Binns, 1986). ژنوتیپ‌های با واریانس انحراف از رگرسیون (S^2di) بیشتر ناپایدارتر و ژنوتیپ‌های با کمتر S^2di پایدارتر می‌باشند (Eberhart and Russell, 1966).

برای تجزیه گرافیکی و تحلیل بهتر اثرات متقابل $G \times E$ از مدل GGE بای پلات استفاده شد. در این روش بای پلات‌ها بر اساس (۱) الگوهای "کدام ژنوتیپ(ها) برای کدام محیط(ها) مناسبتر است؛ (۲) رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب همزمان عملکرد دانه با پایداری؛ (۳) نمایندگی محیط‌ها در مقابل قدرت تمییز محیط‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌ها؛ (۴) رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ مطلوب و (۵) گروه‌بندی محیط‌ها بر اساس میزان تشابه و عدم تشابه آنها در تفکیک ژنوتیپ‌ها ترسیم شدند. برای تجزیه رگرسیون توام از نرم افزار IRRISTAT و برای تجزیه GGE بای پلات از نرم افزار آماری GGE biplot (Yan, 2001) استفاده شد.

در آزمایشات چند محیطی^۱ گندم دوروم دیم با استفاده از روشهای GGE بای پلات و رگرسیون توام به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها و محیط‌های آزمایشی و شناسایی ژنوتیپ(های) پایدار و با عملکرد بالا برای محیط‌های هدف بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۲۳ ژنوتیپ گندم شامل ۲۰ لاین اصلاحی دوروم ($G1-G20$)، یک رقم اصلاح شده گندم دوروم با نام زردک ($G21$)، یک رقم بومی گندم دوروم گردیش ($G22$) و یک رقم بومی گندم نان سرداری ($G23$) در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم در کرمانشاه (ایستگاه سرارود)، ایلام (ایستگاه شیروان چرداول)، مراغه (ایستگاه مراغه) و خراسان شمالی (ایستگاه شیروان) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی (در ایستگاه‌های سرارود و شیروان چرداول) به مدت سه سال زراعی (۹۰-۱۳۸۷) مورد بررسی قرار گرفتند. در شرایط آبیاری تکمیلی دو بار آبیاری (جمعا" حدود ۵۰ میلی‌لیتر) از آغاز دوره گلدهی تا رسیدگی اعمال گردید. آزمایشات در زمینی که سال قبل بصورت آیش بوده کشت شدند. اطلاعات بیشتر در خصوص محیط‌ها در جدول ۱ آمده است. هر آزمایش در هر محیط در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. هر ژنوتیپ در هر تکرار در ۶ خط ۶ متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر کشت شد. میزان کود مصرفی در هر سال بر اساس توصیه کارشناسان خاک و آب ایستگاه‌های مذکور بود. در این بررسی از صفات زراعی مختلف یادداشت برداری شد اما برای تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ \times محیط تنها از عملکرد دانه در

1 - Multi-environment trials (MET)

نتایج و بحث

بقیه ژنوتیپ‌ها در درون پلی‌گون قرار دارند. ژنوتیپ‌هایی که رئوس چند ضلعی را تشکیل می‌دهند (G5، G18، G11، G21، G22 و G23) 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 پلی‌گون 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 معنی‌دار در یک ناحیه (منطقه) را فراهم می‌نماید. بنابراین بر اساس شکل ۱ محیط‌ها به چهار گروه و ژنوتیپ‌ها به شش گروه تقسیم شدند. اولین گروه محیطی شامل محیط‌های KI10، KR10، KI08 (کرمانشاه) و IR08 (ایلام) که ژنوتیپ‌های G21 (ساجی) و G11 دارای بیشترین عملکرد در این گروه محیطی بودند. گروه دوم شامل محیط‌های SR08 و SR10 (شیروان) و محیط‌های MR09 و R10 (مراغه) و محیط KR08 (کرمانشاه) بود که ژنوتیپ شماره ۲۳ (سرداری) دارای بیشترین عملکرد در این گروه محیطی بود. این گروه جزء محیط‌های سرد نامگذاری می‌شود. گروه سوم شامل محیط‌های IR10، II10، IR09، II09 (ایلام) و محیط KR09 (کرمانشاه) بود که هیچکدام از ژنوتیپ‌ها در این گروه محیطی دارای بیشترین میزان عملکرد نبودند. این گروه جزء محیط‌های گرم معتدل نامگذاری می‌شود. در حالیکه گروه ۱ را می‌توان جزء محیط‌های معتدل نامگذاری نمود. گروه چهارم شامل محیط KI09 بود که هیچ ژنوتیپی در این گروه

بر اساس نتایج تجزیه مرکب، اختلاف معنی داری بین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها وجود داشت (جدول ۲). بین محیط‌ها و اثر مقابل $G \times E$ نیز اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت. میزان اثرات اصلی برای محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل $G \times E$ به ترتیب ۸۴٪، ۲/۳٪ و ۷/۷٪ مجموع مربعات کل بود. بزرگی اثر محیط بیانگر متفاوت بودن محیط‌ها بوده که باعث ایجاد اثر متقابل $G \times E$ معنی‌دار و ایجاد تنوع در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها شده است. بزرگی اثر متقابل $G \times E$ نسبت به ژنوتیپ حدود سه برابر بود که حاکی از وجود احتمالی مگا-محیط‌ها با ژنوتیپ‌های مختلف که حداکثر عملکرد را در آن مگا-محیط‌ها دارند، می‌باشد (Yan and Kang, 2003). تاثیر اندک ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل می‌باشد که در سال‌های گذشته در برنامه اصلاحی گندم دوروم ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد انتخاب شده و با ورود آنها در آزمایشات سازگاری و پایداری عملکرد، نسبت به محیط و اثر متقابل $G \times E$ نقش کمتری در توجیه تنوع موجود ایفا نموده‌اند که با سایر نتایج گزارش شده در تطابق می‌باشد (Yan et al., 2001; Samonte et al., 2005; Fan et al., 2007; Rose et al., 2008).

تجزیه الگوهای چندضلعی بای‌پلات برای تجزیه اثرات متقابل $G \times E$

شکل ۱ نمایش چند ضلعی از ۲۳ ژنوتیپ مورد بررسی در ۱۶ محیط را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌هایی که بیشترین فاصله را از مرکز بای‌پلات دارند توسط خطوط مستقیمی به هم متصل شده‌اند و

بیشتر در محیط‌های سرد (مراغه و شیروان) و گرم (ایلام) دیم را تقویت می‌نماید. ژنوتیپ‌های G5، G18 و G22 در هیچ کدام از محیط‌ها برتر نبودند. ژنوتیپ‌های G4، G14، G2 و G10 که در نزدیک مرکز بای پلات قرار داشتند، دارای کمترین نقش در اثر متقابل G×E بودند و بر این مبنا می‌توان گفت که دارای سازگاری عمومی هستند (شکل ۱).

محیطی دارای بیشترین میزان عملکرد نبود. محیط‌های مربوط به کرمانشاه در بعضی از سالها در گزینش ژنوتیپ‌ها مشابه محیط‌های گرم (ایلام) و در بعضی از سالها مشابه محیط‌های سرد (مراغه و شیروان) عمل نموده است. این نتایج استفاده اولیه از منطقه کرمانشاه را برای آزمون اولیه جمعیت‌های بزرگ دوروم و پس از آن، هدایت گروه‌های ژنوتیپی جهت ارزیابی

جدول ۱- مشخصات محیط‌های مورد بررسی

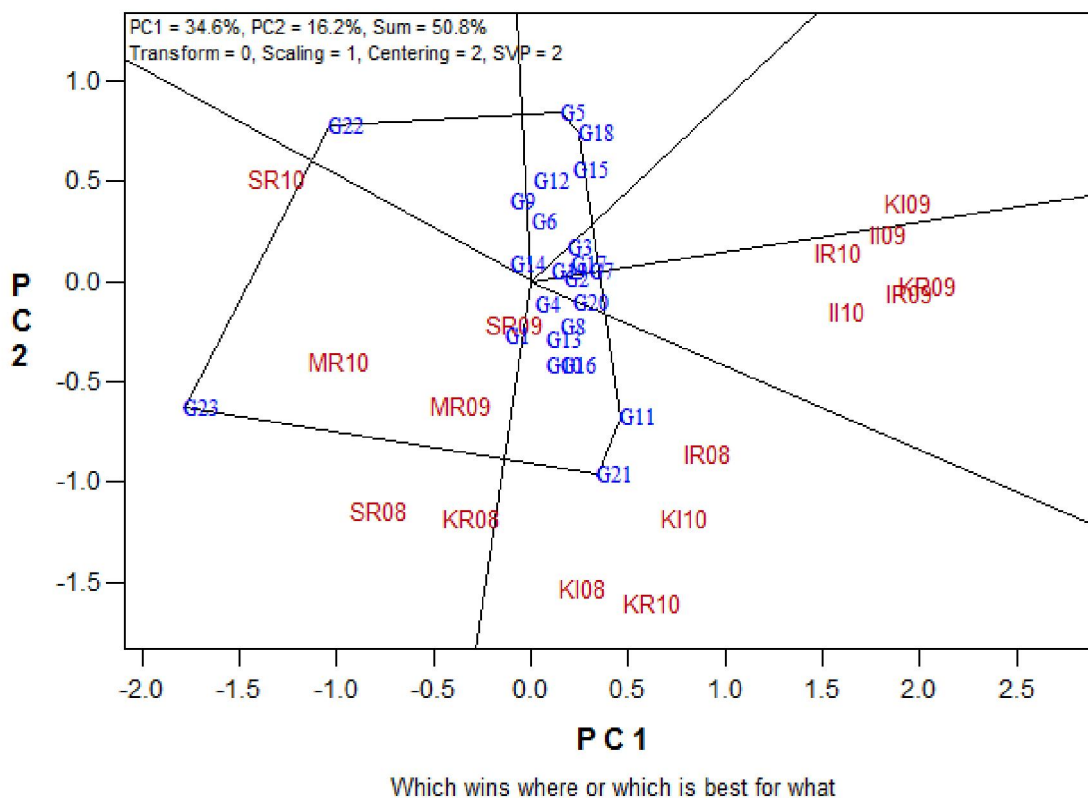
کد	سال زراعی	مکان	وضعیت	بارندگی (mm)
KR08	1387-88	کرمانشاه	دیم	۲۸۸/۳
KI08	1387-88	کرمانشاه	آبیاری تکمیلی	۲۸۸/۳
IR08	1387-88	ایلام	دیم	۲۷۷/۱
MR08	1387-88	مراغه	دیم	۲۷۷/۱
SR08	1387-88	شیروان	دیم	۳۳۸/۶
KR09	1388-89	کرمانشاه	دیم	۴۵۵/۷
KI09	1388-89	کرمانشاه	آبیاری تکمیلی	۴۵۵/۷
IR09	1388-89	ایلام	دیم	۵۱۱/۶
II09	1388-89	ایلام	آبیاری تکمیلی	۵۱۱/۶
MR09	1388-89	مراغه	دیم	۴۹۸/۱
KR10	1389-90	کرمانشاه	دیم	۳۴۲/۵
KR10	1389-90	کرمانشاه	آبیاری تکمیلی	۳۴۲/۵
IR10	1389-90	ایلام	دیم	۳۸۵/۱
II10	1389-90	ایلام	آبیاری تکمیلی	۳۸۵/۱
MR10	1389-90	مراغه	دیم	۳۵۱/۴
SR10	1389-90	شیروان	دیم	۲۱۳/۱

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه برای ۲۳ ژنوتیپ در ۱۶ محیط

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	SST%
محیط	۱۵	۴۰۱۸۴۳۳۰۶۴	۲۶۷۸۹۵۵۳۸**	۸۴/۰
تکرار در محیط	۳۲	۵۲۳۶۵۳۱۶	۱۶۳۶۴۱۶	۱/۱
ژنوتیپ	۲۲	۱۰۹۲۵۶۰۴۰	۴۹۶۶۱۸۴**	۲/۳
ژنوتیپ x محیط	۳۳۰	۳۶۶۷۱۴۱۳۹	۱۱۱۱۲۵۵**	۷/۷
خطا	۷۰۴	۲۳۹۸۶۵۵۷۳	۳۴۰۷۱۸	۵/.
کل	۱۱۰۳	۴۷۸۶۳۴۱۳۲		

SST% درصد نسبت به مجموع مربعات کل ؛

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪



شکل ۱- نمایش گرافیکی GGE بای پلات بر اساس ۲۳ ژنوتیپ (G1-G23) آزمایش شده در ۱۶ محیط که نشان می دهد کدام ژنوتیپ (ها) در کدام محیط (ها) برتر می باشد. برای نام کامل محیط ها به جدول ۱ مراجعه شود

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد و پایداری

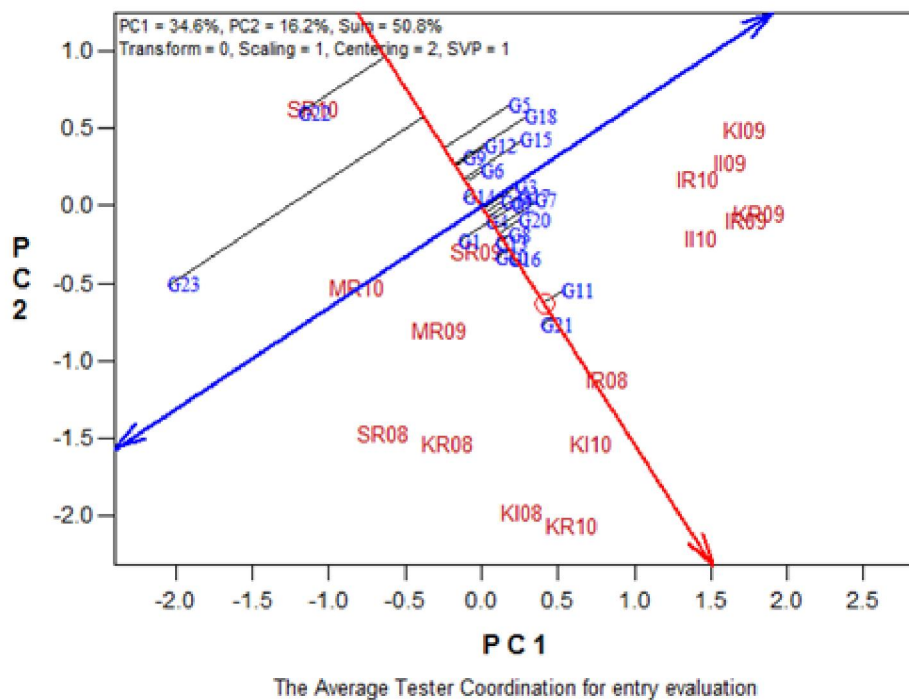
شکل ۲ رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در ۱۶ محیط را نشان می‌دهد. خطی که از مرکز بای‌پلات می‌گذرد و از نقطه مطلوب (که نماینده متوسط ضرایب دو مولفه اول اثر متقابل (PC1, PC2) در مدل GGE بای‌پلات است) می‌گذرد خط متوسط عملکرد محیطی (ATC)^۱ نامیده می‌شود (Yan and Kang, 2003). ژنوتیپ‌هایی که به مرکز دایره‌ای که بر روی این خط قرار دارد نزدیکتر باشند دارای عملکرد بیشتری می‌باشند. خطی که بر این خط (ATC) عمود و از مرکز بای‌پلات می‌گذرد (خط دو سر فلش) معیار سنجش پایداری ژنوتیپ‌ها می‌باشد. هر چه ژنوتیپ‌ها از این خط (ATC) فاصله بیشتری داشته باشند در اثر متقابل نقش بیشتری داشته و پایداری کمتری دارند (Yan, 2002). به منظور انتخاب ژنوتیپ‌های با دامنه سازگاری بیشتر، بایستی ژنوتیپ‌های مطلوب که از لحاظ عملکرد و پایداری بهتر می‌باشند انتخاب شوند. بر اساس مدل GGE بای‌پلات، این ژنوتیپ‌ها بایستی نزدیک به نقطه مطلوب بر روی خط ATC و کمترین فاصله را از خط ATC داشته باشند. بر این اساس ژنوتیپ‌های G21 (ساجی)، G11، G16، G10 و G13 جزء ژنوتیپ‌های برتر بودند (شکل ۲). بقیه ژنوتیپ‌ها که در سمت راست خط دو سر فلش قرار دارند از لحاظ عملکرد برتر از میانگین و ژنوتیپ‌هایی که در سمت چپ خط دو سر فلش قرار دارند عملکرد کمتری از میانگین داشتند. بر اساس شکل ۲ ژنوتیپ G23 (سرداری) از عملکرد پایین و کمترین پایداری برخوردار بود. ژنوتیپ‌های G5، G18، G15

و G22 نیز دارای عملکرد کمتر از میانگین کل و ناپایدار بودند.

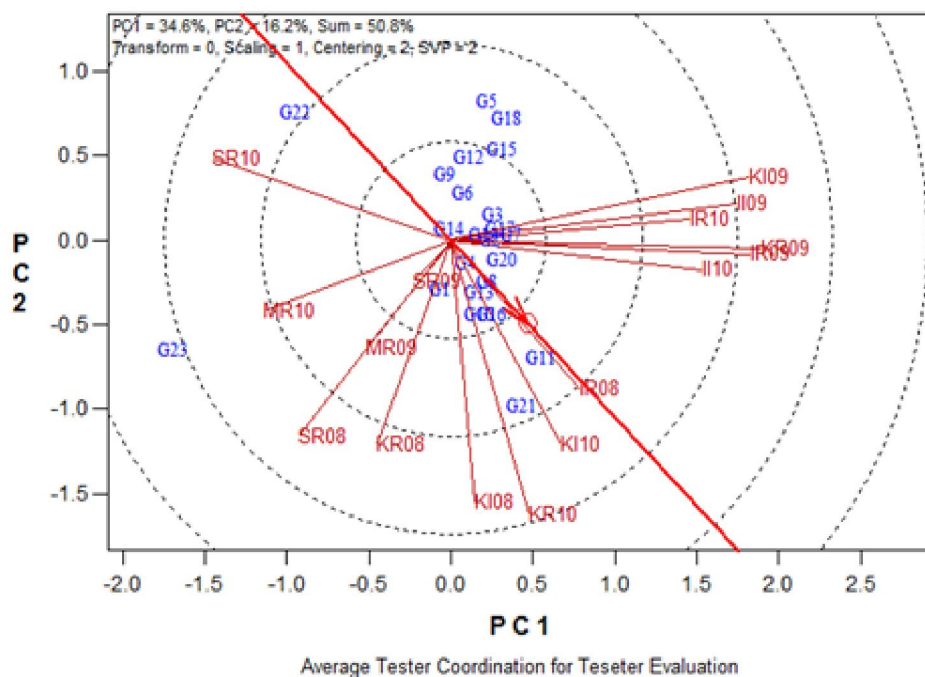
تجزیه گرافیکی روابط محیط‌های مورد آزمایش

بر اساس شکل ۳ تشابه بسیار زیادی بین برخی از محیط‌های مربوط به ایلام (IR10، II09، IR09)، II10 با محیط‌های مربوط به کرمانشاه (KR09) و KI09 وجود داشت. همچنین همبستگی بالایی بین محیط‌های KI10، KR10، KI08 مربوط به کرمانشاه با محیط IR08 (ایلام) وجود داشت. محیط‌های MR09 و MR10 مربوط به مراغه همبستگی مثبتی با محیط‌های SR08 و SR09 مربوط به شیروان داشتند. زاویه بین بردارهای محیطی مربوط به مراغه و شیروان با محیط‌های مربوط به ایلام بیش از ۹۰ درجه بود که نشان می‌دهد این محیط‌ها همبستگی منفی در شناسایی ژنوتیپ‌ها دارند. اما برخی از محیط‌های مربوط به کرمانشاه با محیط‌های مربوط به ایلام همبستگی مثبت و با برخی از محیط‌های مربوط به مراغه نیز همبستگی مثبت داشتند. بر اساس نتایج حاصل، همبستگی بالایی بین محیط‌های مربوط به هر یک از مکان‌های ایلام، شیروان و مراغه وجود داشت (شکل ۳) که نشان می‌دهد در محیط‌های مربوط به هر مکان در سالهای مختلف از لحاظ شناسایی ژنوتیپ‌های خاص همبستگی مثبت وجود داشت. اما در مورد کرمانشاه زاویه بین بردارهای محیطی بیشتر از ۹۰ درجه بود که نشان‌دهنده اثر متقابل ژنوتیپ × سال در این مکان می‌باشد. عبارت دیگر در بعضی از سالها برخی از محیط‌های کرمانشاه با محیط‌های گرم و معتدل ایلام و در بعضی از سالها با محیط‌های سرد مراغه و شیروان در یک گروه قرار گرفتند.

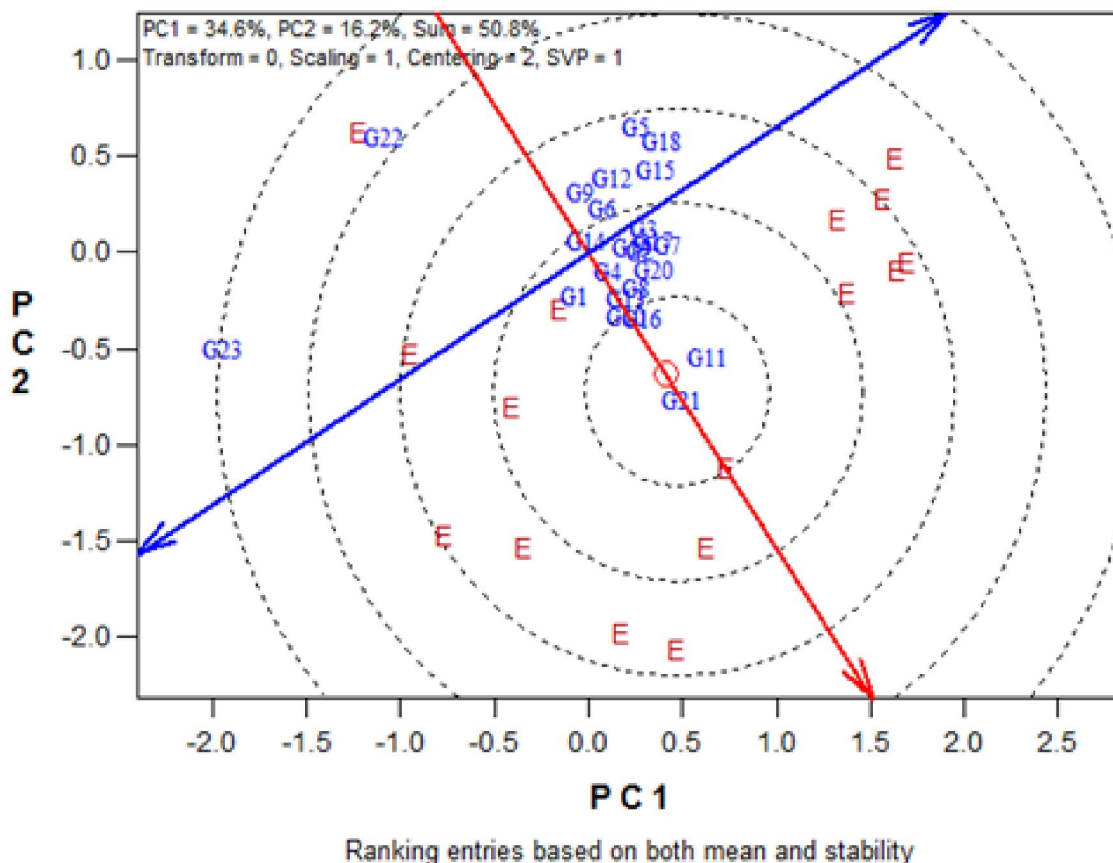
1- Average Tester Coordinate



شکل ۲- ارزیابی ۲۳ ژنوتیپ آزمایش شده در ۱۶ محیط بطور همزمان بر اساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد



شکل ۳- روابط بین محیطها و همچنین مقایسه محیطها از نظر "تفکیک بین ژنوتیپها در مقابل نماینده بودن" آنها را نشان می دهد



شکل ۴- GGE بای پلات ارزیابی ژنوتیپ‌ها نسبت به ژنوتیپ مطلوب را نشان می‌دهد

مطلوب قرار گیرد. این نقطه بعنوان محیط مطلوب مجازی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هر چه طول بردار محیطی بیشتر و فاصله آن به محور ATC کمتر باشد محیط مورد نظر به محیط مطلوب نزدیکتر می‌باشد (Yan, 2001). بر اساس شکل ۳، محیط‌های IR08 (ایلام با شرایط آبیاری تکمیلی) و KI10 (کرمانشاه با شرایط آبیاری تکمیلی) را می‌توان به عنوان محیط‌های مطلوب برای ژنوتیپ‌های گندم دوروم در این آزمایش در نظر گرفت، محیط‌های KR10 و KI08 (کرمانشاه) نیز به شرایط محیط‌های مطلوب نزدیک بودند. هر چه طول بردار محیطی کوچکتر باشد آن محیط توانایی کمتری در تفکیک بین محیط‌ها دارد، بر این اساس محیط SR09 (شیروان) دارای کمترین توانایی در تفکیک و ایجاد

شکل ۳ همچنین نشان می‌دهد که بیشتر ژنوتیپ‌ها دارای پایداری عمومی بوده و تمایلی به سازگاری خصوصی نداشتند. اما ژنوتیپ G23 (سرداری) دارای سازگاری خصوصی به محیط‌های سرد مراغه و شیروان بوده و ژنوتیپ‌های G21 (ساجی) و G11 سازگاری بیشتری به محیط‌های معتدل کرمانشاه نشان دادند. بر اساس شکل ۳ از بین ژنوتیپ‌های تحت بررسی در این مطالعه، ژنوتیپ با سازگاری خصوصی به محیط‌های گرم و معتدل (ایلام) وجود نداشت.

ارزیابی محیط‌ها بر اساس محیط مطلوب^۱

در شکل ۳ دایره کوچک نشان داده شده بر روی محور ATC جایی است که بایستی محیط

1- Ideal environment

۳۲۰۹ کیلوگرم در هکتار بود که بیشترین آن به ترتیب برای ژنوتیپ‌های G7 و G21 (ساجی) و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G23 (سرداری) و G22 (زردک) بود. ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل‌های فینلی و ویلکینسون (۱۹۶۳) و ابره‌ارت و راسل (۱۹۶۶) نشان داد ضرایب رگرسیون عملکرد از ۰/۱۳۴ (برای ژنوتیپ سرداری) تا ۱/۱۹۴ (برای ژنوتیپ G7) متغیر بود. بنابراین ژنوتیپ G7 دارای بیشترین واکنش مثبت به محیط‌های مطلوب و ژنوتیپ سرداری دارای واکنش مثبت به محیط‌های نامطلوب بود. همبستگی رتبه اسپیرمن بین ضریب رگرسیون و عملکرد دانه مثبت و معنی‌دار بود ($r=0.628^{**}$) که نشان می‌دهد ژنوتیپ‌های با ضریب رگرسیون بیشتر دارای عملکرد دانه بیشتری می‌باشند.

ژنوتیپ‌های G1، G22، G23، G9 و G14 با ضرایب رگرسیون کمتر از یک و متوسط ضریب رگرسیون ۰/۷۰۴ دارای سازگاری به شرایط نامطلوب و پایداری کمتر از متوسط و عملکرد پایینتر (۲۸۰۴ کیلوگرم در هکتار) از میانگین کل (۳۲۰۹ کیلوگرم در هکتار) بودند. در مقابل بقیه ژنوتیپ‌ها با ضریب رگرسیون بیشتر از ۱ و متوسط ضریب رگرسیون ۱/۰۸۲ دارای سازگاری به شرایط مطلوب بوده و دارای متوسط عملکردی برابر با ۳۳۲۲ کیلوگرم در هکتار و بیشتر از میانگین کل بودند. بر اساس مدل ابره‌ارت و راسل (۱۹۶۶) ژنوتیپ‌های با حداقل واریانس انحراف از رگرسیون (S2di) پایدار می‌باشند. کمترین مقادیر واریانس انحراف از رگرسیون برای ژنوتیپ‌های G16، G8، G6، G5 و G14 و بیشترین مقدار آن برای ژنوتیپ‌های G23، G1، G4، G21 و G2 وجود داشت. هیچ نوع همبستگی معنی‌داری بین

تنوع بین ژنوتیپ‌ها بود. همچنین محیط‌های KI09 و KR09 (کرمانشاه) و IR09، I109 (ایلام) دارای بیشترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپ‌ها بودند. بر اساس شکل ۳، محیط‌های مربوط به مراغه و شیروان نسبت به محیط‌های کرمانشاه و ایلام توانایی کمتری در تفکیک و نمایندگی کردن سایر محیط‌ها داشتند. استفاده از محیط‌های مطلوب در ارزیابی سایر محیط‌ها در گیاهان زراعی مختلف قبلاً" مورد استفاده قرار گرفته است (Fan et al., 2007; Balnche and Myers, 2006).

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ مطلوب

برای استفاده از ژنوتیپ مطلوب بعنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بایپلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ مطلوب ایجاد شده است (شکل ۴). ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها قرار دارد ژنوتیپی است که دارای میانگین عملکرد بالا و پایداری بالا می‌باشد. بر این اساس ژنوتیپ‌های G21 (ساجی) و G11 دارای میانگین عملکرد و پایداری بالایی بودند. ژنوتیپ‌های G16، G10، G13 و G8 نیز به ژنوتیپ مطلوب نزدیک بودند. در مقابل ژنوتیپ‌های G22، G23، G5، G18، G15، G12 و G9 بعنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند زیرا دارای بیشترین فاصله از ژنوتیپ مطلوب بودند. در میان این ژنوتیپ‌ها G9 دارای پایداری نسبتاً خوب بود اما میانگین عملکرد آن پایین بود.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها بر اساس مدل رگرسیون توام

بین عملکرد ژنوتیپ‌های مورد بررسی در سطح احتمال ۱٪ اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها برابر با

جهت گزینش ژنوتیپ‌های با پایداری استاتیکی استفاده
 Lin *et al.*, 1986; Becker and Leon,) نموده‌اند
 1988; Flores *et al.*, 1998; Mohammadi *et al.*,
 (2010).

پارامتر S2di و عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها وجود نداشت
 (r=0.062ns) بنابراین انتخاب بر اساس S2di منجر به
 انتخاب ژنوتیپ‌های با پایداری استاتیکی خواهد شد.
 عدم همبستگی S2di با عملکرد دانه در محصولات
 مختلف گزارش شده است و محققین از این پارامتر

جدول ۳- میانگین و رتبه عملکرد و مقادیر و رتبه پارامترهای رگرسیون توام برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Code	Mean yield	Rank	Joint regression analysis (JRA)				Rank of sum of ranks for JRA
			<i>b</i>	Rank	S ² di	Rank	
G1	۳۲۶۱	۱۳	۰/۹۲۴	۲۱	۳۵۷۱۸۰	۲۲	۲۲
G2	۳۳۰۳	۱۰	۱/۰۴۲	۱۴	۲۱۱۰۸۵	۱۹	۲۰/۵
G3	۳۱۹۵	۱۷	۱/۰۲۳	۱۸	۱۱۳۹۴۶	۶	۱۲/۵
G4	۳۳۱۶	۹	۱/۰۸۹	۷	۲۸۷۱۸۵	۲۱	۱۵/۵
G5	۳۱۸۳	۱۸	۱/۱۰۶	۶	۸۸۸۱۱	۴	۲/۵
G6	۳۲۶۷	۱۲	۱/۰۳۶	۱۶	۷۱۵۶۰	۳	۸
G7	۳۴۸۹	۱	۱/۱۹۴	۱	۱۴۱۸۳۳	۹	۲/۵
G8	۳۳۷۶	۷	۱/۰۵۰	۱۲/۵	۵۲۹۷۸	۲	۵
G9	۳۱۰۲	۲۱	۰/۹۷۰	۲۰	۱۴۳۲۳۲	۱۰	۱۹
G10	۳۴۵۴	۳	۱/۰۴۱	۱۵	۱۴۶۰۳۲	۱۱	۱۴
G11	۳۴۱۶	۴	۱/۰۶۹	۱۰	۱۵۲۹۱۴	۱۳	۱۰
G12	۳۲۲۰	۱۶	۱/۰۵۹	۱۱	۱۵۲۰۰۱	۱۲	۱۰
G13	۳۲۵۵	۱۴	۱/۰۵۰	۱۲/۵	۱۸۴۳۹۶	۱۷	۱۸
G14	۳۱۴۹	۲۰	۰/۹۹۱	۱۹	۹۲۳۵۳	۵	۱۲/۵
G15	۳۲۲۳	۱۵	۱/۱۵۳	۳	۱۷۴۳۶۲	۱۵	۶/۵
G16	۳۳۶۶	۸	۱/۰۷۰	۹	۵۱۶۹۷	۱	۲/۵
G17	۳۴۰۱	۵	۱/۱۱۲	۴	۱۵۸۹۶۸	۱۴	۶/۵
G18	۳۲۹۴	۱۱	۱/۱۷۵	۲	۱۴۰۳۴۱	۸	۲/۵
G19	۳۳۸۵	۶	۱/۱۰۷	۵	۱۸۵۸۱۷	۱۸	۱۰
G20	۳۱۷۴	۱۹	۱/۰۳۱	۱۷	۱۷۴۵۴۳	۱۶	۲۰/۵
G21	۳۴۷۷	۲	۱/۰۷۲	۸	۲۴۲۷۹۴	۲۰	۱۵/۵
G22	۲۳۳۶	۲۲	۰/۵۰۳	۲۲	۱۲۳۲۶۱	۷	۱۷
G23	۲۱۷۳	۲۳	۰/۱۳۴	۲۳	۵۹۳۶۵۷	۲۳	۲۳

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این تحقیق تفاوت معنی داری بین محیط‌های با شرایط آب و هوایی مختلف وجود داشت و ژنوتیپ‌های مورد بررسی بسته به شرایط مختلف محیطی واکنش‌های متفاوتی داشتند. مقایسه مدل رگرسیون توام با مدل GGE بای پلات نشان داد هر دو مدل در شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار تقریباً شبیه هم عمل نمودند اما مدل GGE بای پلات اطلاعات بیشتر در مورد تجزیه اثرات $G \times E$ در اختیار قرار داد و بنابراین مفیدتر از مدل رگرسیون توام بود. هر دو مدل لاین اصلاحی G16 را بعنوان یک ژنوتیپ با پایداری استاتیکی و عملکرد متوسط شناسایی نمودند. بعلاوه، با توجه به اهمیت پایداری عملکرد در محیط‌های مختلف، ژنوتیپ‌های G21 و G11 را می‌توان، بعنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری دینامیکی و نیز عملکرد بالا، برای مناطق با شرایط آب و هوایی مختلف توصیه نمود.

ژنوتیپ G21 (ساجی) بر اساس مدل GGE بایپلات یک ژنوتیپ مطلوب بر اساس ترکیب پایداری و عملکرد بود (شکل ۲). از طرفی این ژنوتیپ با ضریب رگرسیون نزدیک به ۱ ($b = 1/07$) نیز یک ژنوتیپ پایدار بود (Eberhart and Russell, 1966)، اما بر اساس آماره S2di از لحاظ ناپایداری در رتبه چهارم قرار داشت (جدول ۳). این نشان می‌دهد که ژنوتیپ G21 یک ژنوتیپ با پایداری آگرونومیکی (دینامیکی) است و برخلاف آماره S2di که گزینش را بر اساس پایداری استاتیکی (بیولوژیکی) انجام می‌دهد ژنوتیپ مناسبی نمی‌باشد. ژنوتیپ G21 در شرایط محیطی مناسب ظرفیت بالایی برای افزایش عملکرد دارد و در محیط‌های نامطلوب نیز از عملکرد قابل قبولی برخوردار است. بنابراین بهبود شرایط محیطی باعث افزایش عملکرد این ژنوتیپ و در نهایت افزایش پایداری آگرونومیکی و کاهش پایداری استاتیکی آن می‌شود.

فهرست منابع

- Allard RW, Bradshaw AD. 1964. Implication of genotype–environment interaction in applied plant breeding. *Crop Science* 5: 503–506.
- Basford KE, Cooper M. 1998. Genotype by environment interactions and some considerations of their implication for wheat breeding in Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 154–175.
- Becker HC, and Leon, J. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1–23.
- Blanche SB, Myers GO. 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science* 46: 946–949.
- Butron A., Velasco P, Ordás A, Malvar RA. 2004. Yield evaluation of maize cultivars across environments with different levels of pink stem borer infestation. *Crop Science* 44: 741–747.

- Cooper M, DeLacy IH. 1994. Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding multi-environment experiments. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 561–572.
- Crossa J, Cornelius PL, Yan W. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype x environment interaction. *Crop Science* 42:136–144.
- Eberhart SA, Russell WA. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science* 6: 36–40.
- Fan XM, Kang MS, Chen H, Zhang Y, Tan J, Xu C. 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal* 99: 220–228.
- Finlay KW, Wilkinson GN. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742–754.
- Flores F, Moreno MT, Cubero JI. 1998. A comparison of univariate and multivariate methods to analyze environments. *Field Crop Research* 56: 271–286.
- Gabriel KR. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453–467.
- Gauch HG. 1992. *Statistical analysis of regional yield trials: AMMI Analysis of Factorial Designs*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands
- Gauch HG. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46:1488–1500.
- Gauch HG, Zobel RW. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science* 37: 311–326.
- Kang MS, Magari R. 1996. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. In: M. S. Kang, and H. G. Zobel (eds), *Genotype by environment interaction*, 1-14. CRC Press, Boca Raton.
- Kempton RA. 1984. The use of bi-plots in interpreting variety-by-environment interactions. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 103: 123–135.
- Laffont JL, Hanafi M, Wright K. 2007. Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. *Crop Science* 47: 990–996.
- Lin CS, Binns MR, Lefcovitch LP. 1986. Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science* 26: 894–900.
- Mohammadi R, Mozaffar Roostaei M, Yousef A, Mostafa A and Amri A. 2010 Relationships of phenotypic stability measures for genotypes of three cereal crops. *Canadian Journal of Plant Science* 90: 819–830.
- Perkins JM, Jinks JL. 1968. Environment and genotype-environmental components of variability. *Heredity* 23: 339–3256.
- Plaisted RL, Peterson LC. 1959. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal* 36:381–385.
- Robins JG, Waldron BL, Vogel KP, Berdahl JD, Haferkamp MR, Jensen KB, Jones TA, Mitchell R, Kindiger BK. 2007. Characterization of testing locations for developing cool-season grass species. *Crop Science* 47: 1004–1012.
- Romagosa I, Fox PN. 1993. Genotype × environment interaction and adaptation. In: Hayward, M.D., Bosermark, N.O., Romagosa, I. (Eds.), *Plant Breeding: Principles and Prospects*. Chapman & Hall, London, pp. 373–390.

- Rose IVLW, Das MK, Taliaferro CM. 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. *Euphytica* 164:19–25.
- Samonte SOPB, Wilson LT, McClung AM, Medley JC. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science* 45: 2414–2424.
- Shafii B, Mahler KA, Price WJ, Auld DL. 1992. Genotype- environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content. *Crop Science*. 32: 922–927.
- Shukla GK. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237–245.
- Wricke G. 1962. Über eine methode zur refassung der ökologischen streubreite in feldversuchen, *Flanzenzucht* 47: 92–96.
- Yan W. 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal* 94: 990–996.
- 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, Cornelius PL, Crossa J, Hunt LA. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science* 41: 656–663.
- Yan W, Hunt LA, Sheng Q, Szlavnic Z. 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597–605.
- Yan W, Kang MS. 2003. *GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Yan W, Rajcan I. 2002. Biplot Analysis of Test Sites and Trait Relations of Soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11–20.
- Yan W, Tinker NA. 2005. An integrated biplot system for displaying, interpreting, and exploring genotype 9 environment interaction. *Crop Science* 45:1004–1016.
- Yan W, Tinker NA. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86:623–645.
- Yates F, Cochran WG. 1938. The analysis of groups of experiments. *Journal Agricultural Science* 28: 556–580.

Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in rainfed durum wheat

Reza Mohammadi^{*1}, Mohammad Armion², Esmail Zadhassan³ and Masoud Eskandari⁴

1- Deputy Dryland Agricultural Research Institute-Kermanshah

2- Center of Agricultural Research and Natural Resources, Ilam

3- Dryland Agricultural Research Institute

4- Center of Agricultural Research and Natural Resources, Shirvan, North Khorasan

Abstract

This research was investigated to analyze genotype × environment (GE) interaction for grain yield in durum wheat multi-environment trials (MET) conducted in dryland agricultural research stations (DARI) using GGE (G + GE interaction) biplot methodology and joint regression analysis ($b + S2di$). The environment, GE interaction and genotype effects were accounted for 84%, 7.7% and 2.3% of total sum of squares. The large variations due to environment effects are indicating environmental diversity that causes significant GE interaction and consequently variation in genotypic yields. Correlation analysis among environments indicated that the environment group corresponding to Maragheh and Shirvan locations (cold locations) differed from environment group corresponding to Ilam location (warm location) in genotypes ranking, whereas environments corresponding to Kermanshah location (moderate location), depending on cropping season, were correlated with the both environmental groups. Based on GGE biplot, the genotypes G21 (Saji cultivar), G11 and G16 had the high combination of yield and stability, while the genotypes G16, G4 and G13 were stable and G23 and G22 were unstable. According to joint regression analysis (JRA), genotypes G7, G18 and G17 with regression coefficients higher than unit were adapted to favorable environments, while G23 and G22 with lowest regression coefficients were adapted to unfavorable environments. Genotypes G16, G8 and G6 with lowest variance in regression deviation were among the first three most stable genotypes and genotypes G23, G1 and G2 vice versa. Genotypes G16, G5 and G18 based on JRA had a good combination of yield and stability. Based on both methods (GGE biplot and JRA) genotype G16 was identified as high yielding and stable genotype and G23 as unstable genotype with low yielding performance. The GGE biplot due to provide more information on GE interaction was a useful tool than the JRA.

Key words: Durum wheat, GE interaction, stability and adaptability, GGE biplot, joint regression analysis

* Corresponding author: rmohammadi1973@yahoo.com Received: 2012/7/3 Accepted: 2014/1/20