دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات
دوره پنجم/ شماره اول/ بهار ۱۳۹۴ (۹۴-۸۳)

تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ× محیط با استفاده از روش GGE بای‌پلات در هیبریدهای ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) تحت شرایط مختلف آبیاری

محمدرضا شیری[1*] و تهمینه بهرامپور[2]

۱ و ۲- به ترتیب بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۱۳- تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۶)

چکیده

ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف ذرت تحت شرایط مختلف تنش آبی، می‌تواند در مشخص کردن ژنوتیپ‌های پایدار و با پتانسیل عملکرد بالا مفید باشد. هدف از اجرای این تحقیق، ارزیابی پایداری هیبریدهای ذرت دانه‌ای و مشخص کردن هیبریدهای با عملکرد دانه بالا و پایدار تحت شرایط مختلف تنش آبی در منطقه مغان بود. برای این منظور، هفت هیبرید ذرت دانه‌ای تحت چهار شرایط مختلف آبیاری شامل آبیاری کامل (E1)، قطع آبیاری در مرحله رویشی (E2)، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (E3) و قطع آبیاری در دوره پر شدن دانه (E4) به مدت سه سال (در مجموع ۱۲ محیط) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثر محیط، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، نشان دهنده واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بود و از این‌رو، امکان تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها وجود داشت. نتایج تجزیه پایداری هیبریدها با روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مولفه اول و دوم GGE بای‌پلات، ۹۴/۷ درصد از تغییرات کل عملکرد دانه را توجیه کردند. در نمودار بای‌پلات رتبه پایداری، پایدارترین هیبریدها به ترتیب شامل SC700، TWC600 و SC724 بوده و هیبریدهای با عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل به ترتیب شامل SC704، SC724، SC703، SC720 و SC647 بودند. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ فرضی ایده‌آل، هیبرید SC704 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد، بهتر از سایر هیبریدها بود و سازگاری عمومی بالایی در تمامی محیط‌های مورد مطالعه داشت. علاوه بر آن، هیبرید SC704 در محیط‌های E1، E2 و E4 و هیبرید SC647 در محیط E3، هیبریدهای برتر و با سازگاری خصوصی بالا بودند. بررسی و مقایسه محیط‌ها نیز نشان داد که محیط‌های E1 و E4 از نظر رتبه‌بندی، گروه‌بندی و تعیین سازگاری هیبریدها، کاملاً مشابه هم عمل کردند، در صورتی که محیط‌های E3 و E2 متفاوت از سایر محیط‌ها بودند.

واژه‌های کلیدی: پایداری عملکرد، تنش خشکی، ژنوتیپ ایده‌آل، سازگاری

* نویسنده مسئول: mohammadrezashiri52@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر شرایط محیطی، پتانسیل ژنتیکی و برهم‌کنش آن‌ها قرار می‌گیرد. اگرچه تمامی تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده از عوامل تهدید کننده کاهش تولید ذرت به حساب می‌آیند، اما در حال حاضر تنش کم آبی مهم‌ترین عامل محدود کننده برای تولید موفقیت‌آمیز ذرت در ایران و جهان به شمار می‌رود (Shiri *et al.*, 2010a). شناسایی ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش رطوبتی از عملکرد مطلوبی بر خوردار باشند، به علت معنی‌دار بودن برهم‌کنش بین ژنوتیپ و محیط امر پیچیده‌ای به نظر می‌رسد. در این رابطه، محققین روش‌های مختلفی پیشنهاد کرده‌اند که عبارت‌اند از: ۱- گزینش بر اساس عملکرد بالقوه ژنوتیپ‌ها، ۲- گزینش بر اساس معیارهای پایداری، ۳- گزینش بر اساس تلفیقی از عملکرد و صفاتی که با عملکرد همبستگی نشان می‌دهند و ۴- استفاده از عملکرد حاصل از هر دو شرایط فاقد و واجد تنش. ارزیابی عملکرد گیاه، مهم‌ترین شاخص برای شناسایی ارقام سازگار به محیط دارای تنش است (Shiri *et al.*, 2010b). انتخاب بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش و بدون تنش موجب انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا می‌شود، زیرا پاسخ به انتخاب در شرایط بدون تنش، به دلیل بالا بودن وراثت‌پذیری عملکرد در این شرایط، حداکثر است (Gavuzzi *et al.*, 1997).

اثر متقابل ژنوتیپ× محیط با تغییر عملکرد نسبی ژنوتیپ در محیط‌های مختلف، گزینش ژنوتیپ‌های برتر را پیچیده و با اشکال مواجه می‌کند (Cornelius and Crossa, 1999; Gauch, 2006). عکس‌العمل ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است. فعل و انفعالات بین ژنوتیپ‌ها و اثرهای محیطی را اثر متقابل ژنوتیپ×محیط می‌نامند (Brandiej and Meverty, 1994). اثر متقابل ژنوتیپ×محیط همبستگی بین اثر ژنوتیپی و فنوتیپی را کاهش داده و پیشرفت گزینش ژنوتیپ‌ها به ویژه در شرایط تنش خشکی را کاهش می‌دهد. تجزیه پایداری مهم‌ترین روشی است که برای پی بردن به ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ×محیط به‌کار می‌رود و با توجه به آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی و مورد استفاده قرار داد (Perkins and Jinks, 1971; Cornelius and Crossa, 1999). روش‌های گوناگونی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارایه شده است (Becker and Leon, 1988) که شامل روش‌های تک متغیره، چند متغیره و ناپارامتری هستند (Karimizadeh *et al.*, 2006). اگرچه محاسبه و استفاده از روش‌های تک متغیره پارامتری و ناپارامتری آسان است، ولی این روش‌ها نمی‌توانند ماهیت پیچیده و چند بعدی اثر متقابل را به خوبی تفسیر نمایند. از این‌رو، استفاده از روش‌های چند متغیره برای رفع این مشکل پیشنهاد شده است (Moreno-Gonzalez *et al.*, 2004). از میان روش‌های چند متغیره می‌توان به روش بای‌پلات که بر مبنای تجزیه به مولفه‌های اصلی پیشنهاد شده است اشاره کرد (Gabriel, 1971; Kempton, 1984; Gauch and Zobel, 1997; Yan *et al.*, 2000).

نسخه‌های متنوعی از بای‌پلات بر اساس روش‌های آماری چند متغیره معرفی و به صورت گسترده توسط اصلاح‌گران گیاهی به منظور تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط استفاده شده است (Yan *et al.*, 2000; Gauch, 2006; Yan and Tinker, 2006). یک نسخه ویژه از بای‌پلات، GGE بای‌پلات (اثر اصلی ژنوتیپ، G و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، GE) است که به طور هم‌زمان اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط را در اختیار قرار می‌دهد. این روش بر خلاف مرسوم‌ترین روش چند متغیره تجزیه پایداری که تنها آثار متقابل ژنوتیپ×محیط را مورد توجه قرار می‌دهد، از آثار اصلی ژنوتیپ نیز استفاده می‌کند. پژوهش‌های متعدد نشان داده است که در بیشتر آزمایش‌های تجزیه پایداری اثر اصلی محیط زیاد است، در حالی که تغییرات توجیه شده به وسیله اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط که قابل توصیه و تفسیر می‌باشند، کم است. از آنجایی که محیط عاملی نیست که بتوان آن را کنترل کرد، از این‌رو در روش GGE بای‌پلات از منابع تغییرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ× محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد (Yan *et al.*, 2000; Yan *et al.*, 2007).

روش GGE بای‌پلات از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ ×محیط به به‌نژادگر کمک می‌کند تا به سادگی پایداری ژنوتیپ‌ها و ترکیب پایداری با عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف را ارزیابی کرده و همچنین استفاده از این روش امکان بررسی روابط میان محیط‌ها و

Archive of SID

www.SID.ir

شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به سادگی میسر می‌سازد (Yan *et al.*, 2001). استفاده از این مدل برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های چند محیطی در گندم (Yan *et al.*, 2001; Yan and Hunt, 2002)، ذرت (Fan *et al.*, 2007; Choukan, 2011; Changizi *et al.*, 2014)، سویا (Yan and Rajcan, 2002)، جو (Dehghani *et al.*, 2006; Mortazavian *et al.*, 2014)، پنبه (Blanche and Myers, 2006; Dimitrios *et al.*, 2008)، کلزا (Saeid Rahnejat and Farshadfar, 2015) و گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2010) گزارش شده است.

از کاربردهای مهم GGE بای‌پلات در برنامه‌های اصلاحی، گروه‌بندی محیط‌های هدف برای گیاهان مختلف است. با استفاده از GGE بای‌پلات، محیط‌های مورد بررسی به چندین گروه محیطی که از نظر واکنش به ژنوتیپ‌ها نسبتاً مشابه عمل می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند. گروه‌بندی محیط‌ها برای محصولات زراعی مختلف مثل گندم نان (Yan and Tinker, 2006; Kaya *et al.*, 2006)، گندم دوروم (Letta *et al.*, 2008; Mohammadi *et al.*, 2010, 2012)، جو (Mohammadi *et al.*, 2009)، سویا (Yan and Rajcan, 2002)، برنج (Samonte *et al.*, 2005) و ذرت (Choukan, 2011) گزارش شده است.

هدف از اجرای این پژوهش، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط با استفاده از روش GGE بای‌پلات، به منظور ارزیابی واکنش هیبریدها در شرایط محیطی مختلف و تعیین هیبریدهای ایده‌آل برای محیط‌های مختلف تحت تنش آبی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات کشاورزی مغان واقع در شمالی‌ترین نقطه استان اردبیل (بین ۳۹ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۴۵ تا ۵۰ متر از سطح دریای آزاد) اجرا شد. بر اساس گزارش ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس آباد مغان، این منطقه جزء اقلیم نیمه بیابانی خفیف می‌باشد که دارای زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم است. بیشینه دما با متوسط ۳۱/۴ درجه سلسیوس در مرداد ماه و کمینه دما با متوسط ۱/۴ درجه سلسیوس در دی ماه ثبت شده و متوسط بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه نیز ۳۸۹/۵ میلی‌متر گزارش شده است.

در این آزمایش، چهار رژیم آبیاری مختلف به مدت سه فصل زراعی (جمعاً در ۱۲ محیط) روی هفت هیبرید ذرت دانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. رژیم‌های آبیاری شامل E1، آبیاری کامل (آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و عرف منطقه)، E2، قطع آبیاری در مرحله رویشی (قطع آبیاری بعد از سبز شدن بوته‌ها تا ظهور گل تاجی و آبیاری کامل بعد از ظهور گل تاجی تا انتهای دوره رشد)، E3، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (قطع آبیاری از مرحله ظهور گل تاجی تا اتمام مرحله گرده افشانی و آبیاری کامل در مراحل قبل و بعد از گل‌دهی) و E4، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (آبیاری تا مرحله اتمام گرده‌افشانی و قطع آبیاری بعد از اتمام گرده‌افشانی تا انتهای دوره رشد) و هیبریدهای ذرت دانه‌ای از گروه‌های دیررس و متوسطرس ذرت شامل TWC600، SC647، SC700، SC703، SC704، SC720 و SC724 بودند. به منظور سبز شدن یکنواخت، آبیاری اول برای تمام آزمایش‌ها انجام شد و میزان آب ورودی و خروجی به آزمایش‌ها جهت تعیین مقدار آب مصرفی با استفاده از فلوم W.S.C. (Washington State College Flume) اندازه‌گیری شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و طول ۵/۷۶ متر بود که روی هر خط، ۳۲ بوته به فاصله ۱۸ سانتی‌متر به صورت دستی کاشته شد. با احتساب ۷۵ سانتی‌متر فاصله خطوط کاشت، تراکم کشت در حدود ۷۵ هزار بوته در هکتار بود. برداشت محصول پس از حذف دو ردیف کناری هر کرت و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر خط کاشت به عنوان حاشیه، فقط از دو خط وسط هر کرت به مساحت ۸/۶۴ متر مربع انجام شد.

برای تجزیه داده‌ها، ابتدا آزمون بارتلت به منظور بررسی یکنواختی واریانس‌ها انجام شد و سپس تجزیه مرکب انجام گرفت. با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، تجزیه گرافیکی با استفاده از روش GGE بای‌پلات (Yan, 2001; Yan and Kang, 2003) بر مبنای تجزیه به مقادیر منفرد، مطابق با رابطه ۱ انجام شد:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \sum \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \varepsilon_{ij} \qquad (1)$$

Archive of SID

www.SID.ir

در این رابطه Y_{ij} میانگین ژنوتیپ i ام در محیط j ام، μ میانگین کل ژنوتیپ‌ها، β_j اثر اصلی محیط j ام، λ_l مقادیر منفرد برای مؤلفه اصلی l ام، ξ_{il} بردار ویژه مربوط به مولفه اصلی l ام در ژنوتیپ i ام، η_{lj} بردار ویژه مربوط به مولفه اصلی l ام در محیط j ام و ε_{ij} بردار باقیمانده مدل است. به عبارت دیگر، این روش نوعی تجزیه به مولفه‌های اصلی برای مجموع اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است که در آن از رویه تجزیه به مقادیر منفرد استفاده می‌شود. داده‌های حاصل از ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به صورت یک ماتریس دو طرفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استخراج می‌شوند.

برای مقیاس‌بندی متقارن بردارهای ویژه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از روابط زیر استفاده شد:

$$\xi_l^* = \lambda_l^{1/2}\xi_{il} = (\lambda_1\xi_{ik})\lambda_l^{1/2}$$
$$\eta_{jl}^* = \lambda_l^{1/2}\eta_{jl} = \eta_{jl}\lambda_l^{1/2} \qquad (۲)$$

مقدار منفرد برای یک مولفه اصلی برابر با ریشه دوم مجموع مربعات توجیه شده توسط آن مولفه اصلی است. بنابراین، ریشه دوم مقدار منفرد برای مولفه اصلی l ام بر اساس رابطه زیر به دست آمد:

$$\lambda_l^{1/2} = (X_1 n)^{1/4} \qquad (۳)$$

که در آن، X_1 مقدار منفرد برای مولفه l ام و n تعداد ژنوتیپ است (Yan, 2001; Yan and Kang, 2003).

پس از مقیاس‌بندی متقارن بردارهای ویژه ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، مقادیر مورد نیاز برای رسم نمودارهای بای‌پلات به دست می‌آیند. نرم افزار GGE بای‌پلات به طور خودکار تمامی این مراحل را انجام داده و نمودارهای مورد نیاز را محاسبه و تولید می‌کند.

در این مطالعه، نمودارهای بای‌پلات بر اساس چهار الگوی زیر رسم شدند: ۱) کدام ژنوتیپ برای کدام محیط مناسب‌تر است (Which-win-where)، ۲) رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ترکیب هم‌زمان عملکرد دانه و پایداری، ۳) رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها بر اساس ژنوتیپ فرضی ایده‌آل و ۴) گروه‌بندی محیط‌ها بر اساس میزان تشابه و تفاوت آن‌ها در تفکیک ژنوتیپ‌ها.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب آزمایش نشان داد که اثر محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. سهم اثر اصلی محیط، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط به ترتیب ۷۱/۳، ۲/۳۷ و ۹/۲۴ درصد از مجموع مربعات کل بود (جدول ۱). معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ×محیط نشان داد که واکنش هیبریدها از نظر عملکرد دانه تحت شرایط محیطی مختلف (شرایط آبیاری و سه سال اجرای آزمایش) متفاوت بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه هیبریدهای ذرت در ۱۲ محیط (چهار شرایط آبیاری و سه سال)

Table 1. Combined analysis of variance for grain yield of maize hybrids across 12 environments (four irrigation conditions and three years)

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of square	میانگین مربعات Mean square	درصد از تنوع کل Percent of total variation
Environment (E)	محیط	11	1239. 368	112. 67**	71. 33
Replication / E	تکرار درون محیط	24	163. 354	6. 806	9. 40
Genotype (G)	ژنوتیپ	6	41. 265	6. 877**	2. 37
G × E	ژنوتیپ× محیط	66	160. 624	2. 434**	9. 24
Error	خطای آزمایش	144	133. 012	0. 924	7. 65
Total	کل	-	1737. 623	-	-

**: Significant at 1% probability level. **: معنی دار در سطح احتمال ۱٪.

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی روند تغییرات میانگین عملکرد دانه هیبریدها تحت شرایط آبیاری مختلف طی سه سال اجرای آزمایش (جدول‌های ۲ تا ۵) نیز نشان داد که بیشتر هیبریدهای مورد مطالعه روند تغییرات عملکردی ثابت و مشخصی را در شرایط محیطی مختلف نشان ندادند که بیانگر اثر متقابل معنی‌دار ژنوتیپ×محیط بود. از این‌رو، امکان تجزیه پایداری فراهم بوده و می‌توان هیبریدهای با سازگاری خصوصی به هر یک از محیط‌ها و احتمالاً هیبریدهای با سازگاری عمومی به تمامی محیط‌های بررسی شده را شناسایی کرد. معنی‌دار بودن اثر محیط نیز نشان دهنده این بود که تفاوت معنی‌داری بین دوازده محیط مورد مطالعه از نظر متوسط عملکرد دانه تمامی هیبریدها وجود داشت و بنابراین، امکان تعیین محیط مناسب هر یک از هیبریدهای مربوطه وجود دارد. بررسی عملکرد هیبریدها در سه سال اجرای آزمایش نیز نشان داد که هیبرید SC704 به ترتیب با عملکرد دانه ۱۱/۲۶، ۹/۱۵ و ۷/۹۴ تن در هکتار در محیط‌های آبیاری کامل (E1)، قطع آبیاری در مرحله رویشی (E2) و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (E4) و هیبرید SC647 با عملکرد ۵/۶۳ تن در هکتار در محیط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (E3)، هیبریدهای برتر این آزمایش از نظر عملکرد دانه بودند.

جدول ۲- میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت مورد مطالعه و رتبه آن‌ها در شرایط آبیاری کامل طی سه سال

Table 2. Average grain yield of maize hybrids and thier ranking under normal irrigation condition during three years

هیبرید Hybrid	سال اول First year	رتبه Rank	سال دوم Second year	رتبه Rank	سال سوم Third year	رتبه Rank	میانگین Mean	رتبه Rank
SC703	7.46	7	12.32	3	10.41	2	10.06	5
SC700	8.86	6	12.20	4	7.94	7	9.67	7
SC720	9.71	3	11.32	5	10.07	5	10.37	3
SC647	10.23	2	12.44	2	10.14	4	10.94	2
SC724	8.86	5	11.30	6	10.32	3	10.16	4
TWC600	10.30	1	11.25	7	8.41	6	9.99	6
SC704	9.51	4	13.68	1	10.60	1	11.26	1

جدول ۳- میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت مورد مطالعه و رتبه آن‌ها در شرایط قطع آبیاری در مرحله رویشی طی سه سال

Table 3. Average grain yield of maize hybrids and thier ranking under water deficit at vegetative stage during three years

هیبرید Hybrid	سال اول First year	رتبه Rank	سال دوم Second year	رتبه Rank	سال سوم Third year	رتبه Rank	میانگین Mean	رتبه Rank
SC703	8.41	1	8.92	4	8.36	3	8.56	2
SC700	6.85	4	7.86	6	5.81	7	6.84	6
SC720	6.83	5	10.03	2	7.88	5	8.25	4
SC647	4.62	7	6.95	7	6.68	6	6.08	7
SC724	6.59	6	9.27	3	8.70	2	8.19	5
TWC600	8.28	2	8.88	5	8.29	4	8.48	3
SC704	8.00	3	10.39	1	9.07	1	9.15	1

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت مورد مطالعه و رتبه آن‌ها در شرایط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی طی سه سال
Table 4. Average grain yield of maize hybrids and thier ranking under water deficit at flowering stage during three years

هیبرید Hybrid	سال اول First year	رتبه Rank	سال دوم Second year	رتبه Rank	سال دوم Third year	رتبه Rank	میانگین Mean	رتبه Rank
SC703	4.55	5	3.76	7	3.68	5	4.00	6
SC700	3.61	7	4.72	5	2.80	7	3.71	7
SC720	3.64	6	4.99	4	4.63	2	4.42	4
SC647	5.65	1	6.32	1	4.93	1	5.63	1
SC724	4.60	4	4.08	6	4.15	4	4.28	5
TWC600	5.14	2	5.26	3	4.22	3	4.87	2
SC704	4.88	3	5.92	2	3.10	6	4.63	3

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه هیبریدهای ذرت مورد مطالعه و رتبه آن‌ها در شرایط قطع آبیاری در دوره پر شدن دانه طی سه سال
Table 5. Average grain yield of maize hybrids and thier ranking under water deficit at grain filling stage during three years

هیبرید Hybrid	سال اول First year	رتبه Rank	سال دوم Second year	رتبه Rank	سال سوم Third year	رتبه Rank	میانگین Mean	رتبه Rank
SC703	7.54	5	6.14	6	7.43	3	7.04	6
SC700	6.56	7	7.29	4	6.70	6	6.85	7
SC720	7.06	6	7.09	5	7.45	2	7.20	5
SC647	8.90	1	7.75	2	6.90	5	7.85	2
SC724	8.34	3	7.60	3	6.62	7	7.52	3
TWC600	8.82	2	6.01	7	7.49	1	7.44	4
SC704	8.22	4	8.64	1	6.96	4	7.94	1

با توجه به وجود اثر متقابل بین ژنوتیپ×محیط، تجزیه واریانس معمولی قادر به توجیه پایداری ژنوتیپ‌ها نیست و بنابراین لازم است با استفاده از روش‌های آماری پیشرفته، این اثر متقابل را مورد بررسی و تحلیل قرار داد تا بتوان ژنوتیپ‌های با عملکرد بیشتر و پایدار را شناسایی نمود.

در این بررسی برای رسم بای‌پلات از مقادیر حاصل از مدل‌های چند متغیره مربوط به هیبریدها و محیط‌ها (چهار شرایط آبیاری طی سه سال) به طور هم‌زمان در یک شکل استفاده شد. نتایج حاصل از روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مولفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۵۹/۸ و ۳۴/۳ درصد و در مجموع ۹۴/۷ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند (شکل ۱). بنابراین، این دو مولفه می‌توانند به منظور توجیه عملکرد دانه هیبریدها استفاده شوند.

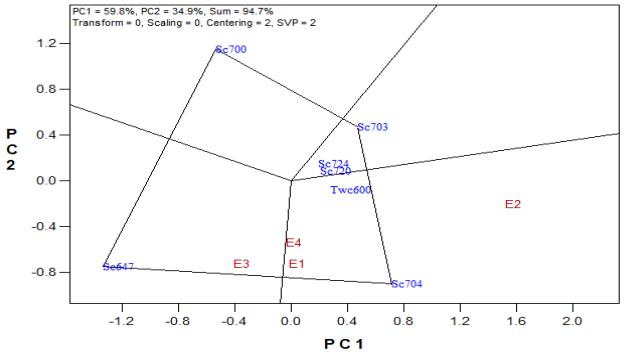
یکی از کاربردهای مهم GGE بای‌پلات، نمودار چند ضلعی مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ×محیط است که اطلاعات مفیدی در اختیار می‌گذارد. نمودار چند ضلعی هیبریدهای مورد مطالعه در ۱۲ محیط در شکل ۱ ارایه شده است. چنین رویه‌ای توسط سایر محققین نیز استفاده شده است (Yan *et al.*, 2000; Sabaghnia *et al.*, 2008; Choukan, 2011; Changizi *et al.*, 2014). در

Archive of SID

www.SID.ir

این شکل هیبریدهایی که حداکثر فاصله را از مبدأ بای‌پلات دارند، توسط خطوط مستقیمی به یکدیگر وصل شده و یک چند ضلعی حاصل می‌شود. سپس از مبدأ مختصات، خطوطی عمود بر اضلاع این چند ضلعی رسم شده و محیط‌های بزرگ مشخص می‌شوند. هیبریدهای واقع در راس چند ضلعی هر محیط، هیبریدهای برتر آن محیط هستند (Yan *et al.*, 2000). بر این اساس، هیبریدهای SC704، SC703، SC647 و SC700 در رأس چند ضلعی قرار گرفتند. این هیبریدها از نظر عملکرد دانه، بهترین و یا ضعیف‌ترین هیبریدها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها هستند، چرا که بیشترین فاصله را از مرکز بای‌پلات دارند. در محیط‌های E1 (کشت در شرایط آبیاری کامل)، E2 (قطع آبیاری در مرحله رویشی) و E4 (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه)، هیبرید SC704 بیشترین عملکرد دانه را داشت و هیبرید برتر در این محیط‌ها بود. هیبرید TWC600 نیز تشابه زیادی با این هیبرید در این محیط‌ها داشت. در محیط E3 (قطع آبیاری در مرحله گلدهی) هیبرید SC647 برترین هیبرید بود. در مقابل، اگرچه هیبریدهای SC700 و SC703 هیبریدهای واقع در رأس چند ضلعی بودند، اما در هیچ از یک محیط‌ها عملکرد دانه خوبی نداشتند.

برای بررسی پایداری و عملکرد هیبریدها، از نمودار محور پایداری (Average Tester Coordinate) استفاده می‌شود که در این بررسی نیز این نمودار بر اساس داده‌های میانگین سه سال رسم شد (شکل ۲). در این شکل، محوری که با دایره و فلش مشخص شده، نشان دهنده پایداری است و هر هیبریدی که به این محور نزدیک باشد، پایدارتر است (Yan *et al.*, 2000). محوری که فقط با فلش مشخص شده است نیز نشان دهنده متوسط عملکرد دانه هیبریدها است و هیبریدهای موجود در سمت چپ این خط، دارای عملکرد دانه پایین‌تر از متوسط کل هستند.



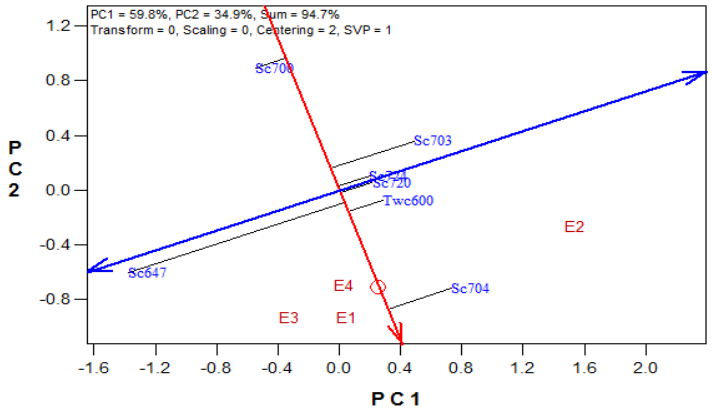
شکل ۱- گروه‌بندی هیبریدها و محیط‌ها با روش GGE بای‌پلات در سه سال اجرای آزمایش

Figure 1. Grouping hybrids and environments by GGE biplot method in three years

بر این اساس، هیبریدهای TWC600، SC720 و SC724، هیبریدهای با عملکرد دانه متوسط و پایداری بالا بودند، در حالی که هیبرید SC704 عملکرد دانه بالا و پایداری متوسط، هیبرید SC700 عملکرد دانه پایین و پایداری بالا و هیبرید SC647 عملکرد دانه متوسط و پایداری بسیار پایینی داشت. به طور کلی، با توجه به این که در انتخاب هیبرید برای محیط‌های مختلف، بایستی هر دو عامل عملکرد و پایداری را در نظر گرفت، بنابراین به نظر می‌رسد هیبرید SC704 با پایداری متوسط و عملکرد دانه بالاتر از میانگین کل، بهترین هیبرید باشد.

نمودار ژنوتیپ ایده‌آل، بر اساس تعیین فاصله از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی رسم می‌شود. این ژنوتیپ ایده‌آل فرضی بر اساس پایدارترین و پرمحصول‌ترین ژنوتیپ تعریف می‌شود (Yan and Kang, 2003). چنین ژنوتیپی بر اساس بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ×محیط تعریف شده است، به طوری که در نمودار، ژنوتیپ ایده‌آل فرضی به صورت یک دایره کوچک روی محور میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها نشان داده می‌شود.

www.SID.ir

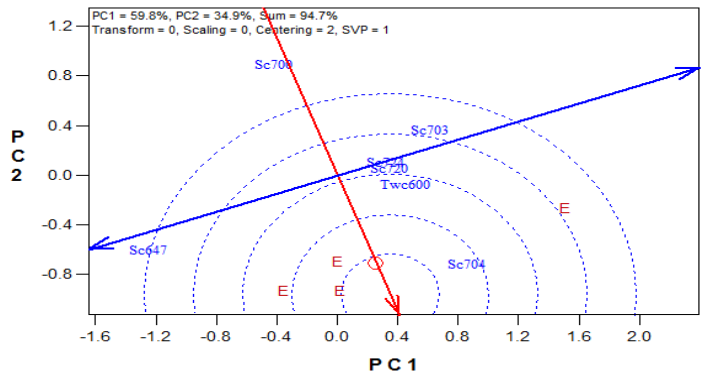


شکل ۲- ارزیابی همزمان عملکرد دانه و پایداری هیبریدهای ذرت در شرایط محیطی مختلف با روش GGE-biplot

Figure 2. Simultaneous evaluation of grain yield and stabilityof the maize hybrids in across environments by GGE-biplot method

برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم‌مرکزی در بای‌پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۳). هر ژنوتیپی که در مرکز دایره‌ها بوده و یا نزدیک‌ترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی داشته باشد، به عنوان یک ژنوتیپ برتر با عملکرد و پایداری بالا محسوب می‌شود. در شکل ۳، هیبرید SC704 کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل فرضی دارد و بنابراین برترین هیبرید است. در عین حال هیبرید SC700 بیشترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی داشت و به عنوان نامناسب‌ترین هیبرید در این آزمایش بود.

نتایج تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ× محیط در این پژوهش نشان داد که محیط‌های مورد مطالعه بخش بزرگی از تغییرات موجود در ماتریس اثر متقابل ژنوتیپ×محیط را توجیه می‌کنند. بنابراین روش GGE بای‌پلات ابزار مناسبی برای گروه‌بندی محیط‌ها و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار به شرایط محیطی مختلف بود. بررسی همبستگی بین محیط‌های مورد آزمایش، روابط بین محیط‌ها را آشکار می‌کند و برای آزمایش‌های آینده راهگشا است. اگر دو یا چند محیط با یکدیگر همبستگی داشته باشند، می‌توان آزمایش‌ها را فقط در یک محیط اجرا کرد و نتایج حاصله را به سایر محیط‌ها تعمیم داد (Yan and Kang, 2003).



شکل ۳- مقایسه هیبریدهای ذرت با ژنوتیپ ایده‌آل بر اساس پایداری و عملکرد دانه در روش GGE بای‌پلات

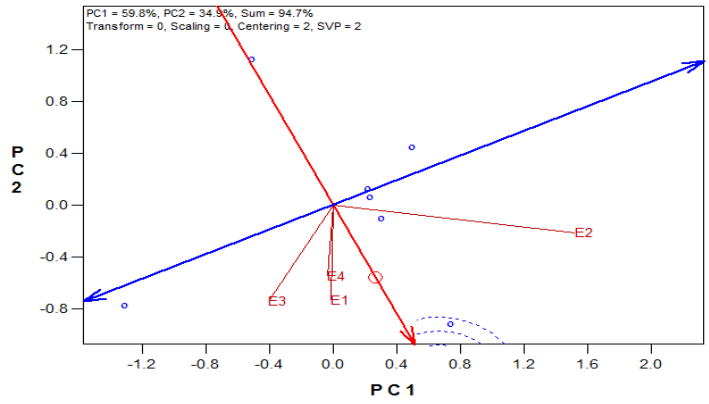
Figure 3. GGE-biplot for comparison of the maize hybrids with the ideal genotype based on grain yield and stability

Archive of SID

www.SID.ir

در نمودار بای‌پلات مربوطه کسینوس زاویه بین بردارهای محیط، بیانگر شدت همبستگی است. اگر زاویه بین دو بردار صفر باشد، در این صورت همبستگی بین آنها برابر با ۱+ (کسینوس صفر درجه) است، در حالی که وجود زاویه ۹۰ درجه بیانگر همبستگی صفر (کسینوس ۹۰ درجه) و زاویه ۱۸۰ درجه نشانگر همبستگی ۱- (کسینوس ۱۸۰ درجه) است. بر این اساس، بردارهای مربوط به محیط‌های E1 و E4 دارای زاویه بسیار کم بودند و بنابراین دو محیط فوق، همبستگی بسیار بالا و نزدیک به ۱+ داشتند (شکل ۴). این بدان معنی است که واکنش هیبریدهای مورد مطالعه در این دو محیط یکسان بود و از این‌رو، نتایج حاصل از شرایط آبیاری کامل را با اطمینان بیشتری می‌توان تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه مورد استفاده قرار داد. از طرف دیگر، همبستگی بین محیط‌های قطع آبیاری در مرحله رویشی (E2) و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (E3) و نیز همبستگی بین محیط‌های آبیاری کامل (E1) و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (E4) با محیط قطع آبیاری در مرحله رویشی (E2) نزدیک به صفر بود، به این معنی که واکنش هیبریدها در دو محیط E2 و E3 متفاوت بود. همچنین، عکس‌العمل هیبریدها در محیط قطع آبیاری در مرحله رویشی متفاوت‌تر از دو محیط آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود. بنابراین، نتایج حاصل از این محیط‌ها را نمی‌توان به یکدیگر تعمیم داد.

سامونته و همکاران (Samonte *et al.*, 2005) و ولتاس و همکاران (Voltas *et al.*, 2005) تاکید کردند که در مدل رگرسیون مکانی در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد، محیط بیشترین کارایی را در توجیه تغییرات داشته و استفاده از آن نتایج بهتر و موثرتری در بر دارد. بر این اساس، محققین زیادی از روش گرافیکی GGE بای‌پلات به منظور تفسیر اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در گیاهان زراعی مختلف استفاده کرده‌اند و نتایج قابل قبولی را نیز به دست آورده‌اند (Yan and Hunt, 2001; Meseka *et al.*, 2008; Jandong *et al.*, 2011; Choukan, 2011; Koocheki *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2012; Changizi *et al.*, 2014; Mortazavian *et al.*, 2014; Saeid Rahnejat and Farshadfar, 2015).



شکل ۴- مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل در روش GGE بای‌پلات

Figure 4. GGE-biplot for comparing the environments with the ideal environment

استفاده از روش‌های چند متغیره برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، یک راهکار قوی و سودمند است، زیرا ماهیت چند بعدی و پیچده اثر متقابل ژنوتیپ×محیط را به خوبی تحلیل می‌کند. روش GGE بای‌پلات با بهره‌گیری از روش‌های چند متغیره و رسم نمودارهای دو بعدی، علاوه بر تجزیه و تحلیل مناسب داده‌ها، تفسیر نتایج را تسهیل می‌نماید و از این‌رو یک روش کارآمد برای تجزیه پایداری است. بر اساس نتایج این تحقیق، هیبرید SC704 در محیط‌های آبیاری کامل (E1)، محیط قطع آبیاری در مرحله رویشی (E2) و محیط قطع آبیاری در دوره پر شدن دانه (E4) و هیبرید SC647 در محیط قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی (E3)، هیبریدهای با عملکرد دانه بیشتر و

www.SID.ir

سازگاری خصوصی بالا به این محیط‌ها بودند. بر اساس بای‌پلات ژنوتیپ فرضی ایده‌آل نیز هیبرید SC704 از نظر هر دو عامل پایداری و میانگین عملکرد، بهتر از سایر هیبریدها بود و سازگاری عمومی بالایی در تمامی محیط‌های مورد مطالعه داشت. نتایج این بررسی در مورد شرایط محیطی مورد مطالعه نیز نشان داد که محیط‌های E1 (آبیاری کامل) و E4 (قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) از نظر رتبه‌بندی، گروه‌بندی و تعیین سازگاری هیبریدهای مورد مطالعه، کاملاً مشابه هم بودند، در حالی که محیط‌های E2 (قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی) و E3 (قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی) از این نظر متفاوت از سایر محیط‌ها عمل کردند.

References

Becker, H. B. 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.

Brandiej, E. and Meverty, B. E. 1994. Genotype×environmental interaction and stability of seed yield of oil rapeseed. **Crop Science** 18: 344-353.

Changizi, M., Choukan, R., Majidi Heravan, E., Bihamta, M. R. and Darvish, F. 2014. Evaluation of genotype×environment interaction and stability of corn hybrids and relationship among univariate parametric methods. **Canadian Journal of Plant Science** 94: 1255-1267.

Choukan, R. 2011. Genotype, environment and genotype×environment interaction effects on the performance of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. **Crop Breeding Journal** 1: 97-103.

Cornelius, P. L. and Crossa, J. 1999. Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multi-environment cultivar trials. **Crop Science** 39: 998-1009.

Dehghani, H., Ebadi, A. and Yousefi, A. 2006. Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. **Agronomy Journal** 98: 388-393.

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.

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.

Gabriel, K. R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika** 58: 453-467.

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.

Gavuzzi, P. R., Palumbo, M., Campanile, R. G., Ricciarid, G. L. and Borgh, B. 1997. Evaluation of field and laboratory predictor of drought and heat tolerance in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science** 77: 523-531.

Jandong, E. A., Uguru, M. I. and Oyiga, B. C. 2011. Determination of yield stability of soybean genotypes across diverse soil pH levels. **Journal of Applied Biosciences** 43: 2924 – 2941.

Karimizadeh, R., Dehghani, H. and Dehghanpour, Z. 2006. Determination of genotypic ranks and stability of corn hybrids (*Zea mays* L.) by nonparametric statistics. **Iranian Journal of Agricultural Sciences** 37: 381-388. (In Persian).

Kaya, Y., Akcura, M. and Taner, S. 2006. GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. **Turkish Journal of Agriculture and Foresty** 30: 325-337.

Kempton, R. A. 1984. The use of bi-plots in interpreting variety-by-environment interactions. **Journal of Agricultural Science Cambridge** 103: 123-135.

Koocheki A. R., Sorkhilaleloo B. and Eslamzadeh Hesari M. R. 2012. Yield stability of barley elite genotypes in cold regions of Iran using GGE biplot. **Seed and Plant Improvement Journal** 28-1 (4): 533-543. (In Persian).

Letta, T., D'Egidio, M. G. and Abinasa, M. 2008. Analysis of multi-environment yield trials in durum wheat based on GGE-biplot electronic resource. **Journal of Food, Agriculture and Environment** 6 (2): 217-221.

Archive of SID

www.SID.ir

Meseka, S. K., Menkir, A. and Ibrahim, A. E. S. 2008. Yield potential and yield stability of maize hybrids selected for drought tolerance. **Journal of Applied Biosciences** 3: 82-90.

Mohammadi, R., Amri, A. and Ansari, Y. 2009. Biplot analysis of rainfed barley multi-environment trials in Iran. **Agronomy Journal** 101: 789-796.

Mohammadi, R., Armion, M., Zadhasan, E., Ahmadi, M. M. and Sadeghzadeh Ahari, D. 2012. Genotype×nvironment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE bipot model. **Seed and Plant Improvement Journal** 28-1 (3): 503-518. (In Persian).

Mohammadi, R., Haghparast, R., Amri, A. and Ceccarelli, S. 2010. Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. **Crop and Pasture Science** 61: 92-101.

Moreno-Gonzalez, J., Crossa, J. and Cornelius, P. L. 2004. Genotype×environment interaction in multi-environment trials using shrinkage factors for AMMI models. **Euphytica** 137: 119-127.

Mortazavian, S. M. M., Nikkhah, H. R., Hassani, F. A., Sharif-al-Hosseini, M., Taheri, M. and Mahlooji, M. 2014. GGE-biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. **Journal of Agricultral Science and Technology** 16: 609-622.

Perkins, J. M. and Jinks, J. L. 1971. Environmental and genotype environment components of variability. III. Multiple line and crosses. **Heredity** 23: 339-356.

Sabaghnia, N., Dehghani, H. and Sabaghpour, S. H. 2008. Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil (*Lens culinaris* Medik) yield in Iran. **Agronomy Journal** 100: 760-764.

Saeid Rahnejat, S. and Farshadfar, E. 2015. Evaluation of phenotypic stability in canola (*Brassica napus*) using GGE-biplot. **International Journal of Biosciences** 6: 350-356.

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.

Shiri, M., Choukan, R. and Aliyev R. T. 2010a. Drought tolerance evaluation of maize hybrids using biplot method. **Trends Applied Sciences Research** 5: 129-137.

Shiri, M., Valizadeh, M., Magjidi, E., Sanjari, A. and Gharib-Eshghi, A. 2010b. Evaluation of wheat tolerance indices to moisture stress condition. **Electronic Journal of Crop Production** 3: 153-171.(In Persian).

Voltas, J., Lopez-Corles, H. and Borras, G. 2005. Use of biplot analysis and factorial regression for the investigation of superior genotypes in multi-environment trials. **European Journal of Agronomy** 22: 309-324.

Yan, W. and Hunt, L. A. 2002. Biplot analysis of diallel data. **Crop Science** 42: 21-30.

Yan, W. and Kang, M. S. 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

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.

Yan, W., Cornelius, P. L., Crossa, J. and Hunt, L. A. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. **Crop Science** 41: 656-663.

Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigations based on the GGE biplot. **Crop Science** 40 :597-605.

Archive of SID

www.SID.ir

Genotype×environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions

Mohammad Reza Shiri[1*] and Tahmineh Bahrampour[2]

1 and 2 Seed and Plant Improvement Department and Soil and Water Research Department, respectively, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Ardabil, Iran

(Received: Jun 3, 2014- Accepted: January 26, 2015)

Abstract

Evaluating of the maize genotypes under different stresses would be useful to identify genotypes with stable and high yield potential. The objective of this study was to estimate yield stability of the grain maize hybrids and identifying high yielding stable hybrids under different water stress conditions in Moghan, Ardabil, Iran. So, seven maize hybrids were assessed by randomized complete block design with three replications under four irrigation conditions including normal irrigation (E1), water deficit at vegetative (E2), water deficit at flowering and (E3) water deficit at grain filling (E4) stages during three years (totally 12 environments). Combined analysis of variance showed that the effects of environments, genotypes and genotype-by-environment (GE) interaction were significant, suggesting that the hybrids responded differently in the studied environment conditions. Therefore, there was the possibility of stability analysis. Results of stability analysis by GGE biplot method revealed that two first and second principal components of the GGE biplot explained 94.7% of the total yield variation. In stability ranking graph of the GGE biplot, SC700, TWC600 and SC724 hybrids were the most stable hybrids, respectively, and the higher grain yield hybrids than the average grain yield were SC704, SC724, SC703, SC720 and SC647 hybrids, respectively. Based on a hypothetical ideal genotype biplot, the hybrid SC704 was better than the other hybrids across environments for grain yield and stability and had the high general adaptation to all environments. Furthermore, the hybrid SC704 at E1, E2 and E4 environments and hybrid SC647 in E3 environment were superior hybrids with the high specific adaptation. Also, comparison of the studied environments showed that the E1 and E4 environments were quite similar in ranking, grouping and assessing stability of the hybrids, whereas the E2 and E3 environments were different from the other environments.

Keywords: Adaptation, Drought stress, Ideal genotype, Yield stability

*Corresponding author: mohammadrezashiri52@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir