

تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام جو دیم با استفاده از مدل GGE biplot

فرهاد آهک‌پز^{۱*} و فرزاد آهک‌پز^۲

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی پایداری عملکرد دانه و تعیین ژنوتیپ‌های پرمحصول و سازگار در قالب آزمایش‌های یکنواخت ناحیه‌ای جو، در ایستگاه‌های تحقیقاتی مناطق سردسیر و معتدل دیم شامل مراغه، سرارود، اردبیل، ارومیه، کردستان (قاملو) و زنجان انجام گرفت. در این بررسی تعداد ۱۰ لاین جو به همراه دو رقم شاهد (محلی و آیدر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار طی سه سال زراعی (۸۸-۱۳۸۵) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه مرکب (سه سال و شش مکان) نشان داد که اثرات ساده سال، مکان و ژنوتیپ، اثر متقابل مکان و ژنوتیپ و اثر سه جانبه سال در مکان در ژنوتیپ بر عملکرد دانه از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به ایستگاه سرارود (۲۵۴۹ کیلوگرم در هکتار) و ایستگاه زنجان (۱۵۷۸ کیلوگرم در هکتار) بوده و لاین شماره ۹ با متوسط عملکرد دانه ۲۰۶۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی داشت. برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ در محیط از روش GGE بای پلات استفاده شد. بر اساس نمودار چند ضلعی مربوط به ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ شماره ۱ بیشترین عملکرد را در اردبیل و ژنوتیپ شماره ۵ بیشترین عملکرد را در زنجان، مراغه و ارومیه داشته و ژنوتیپ شماره ۳ و شماره ۴ به ترتیب در قاملو و سرارود برتر بودند. بر اساس نمودار محیط‌های ایده‌آل فرضی، محیط ارومیه به این محیط نزدیک‌تر بود و بر اساس نمودار ژنوتیپ ایده‌آل فرضی و نمودار بای پلات ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، ژنوتیپ شماره ۵ با توجه به معیار پایداری مورد استفاده، پایداری مطلوب‌تری را نشان داد و این ژنوتیپ به عنوان ژنوتیپ برتر از نظر پرمحصولی و پایداری عملکرد شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، پایداری، GGE بای پلات، جو دیم.

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۸ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۵

۱- عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه، ایران.

۲- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میاندوآب، گروه کشاورزی، میاندوآب، ایران.

* نویسنده مسئول: ahakpaz_frd@yahoo.com

مقدمه

جو (*Hordeum vulgare* L.) یکی از چهار غله مهم در دنیا بوده و در کنار گندم، برنج و ذرت قرار می‌گیرد (Milomirka, 2005). جو با سازگاری وسیع اکولوژیکی و تولید ۱۵۷ میلیون تن در سال و با سطح زیر کشت ۵۶ میلیون هکتار، یکی از مهم‌ترین غلات دنیا می‌باشد. طبق آمار فائو، ایران با تولید سالیانه سه میلیون تن و سطح زیر کشت ۱/۷ میلیون هکتار در رده چهاردهم کشورهای تولیدکننده این محصول قرار می‌گیرد (FAO, 2008).

اثر متقابل ژنوتیپ در محیط پاسخ یک وارسته به تغییرات موجود در محیط می‌باشد (Roozeboom et al., 2008). این اثر متقابل برای محققان اصلاح نباتات اهمیت ویژه‌ای داشته و یکی از مسایل پیچیده برنامه‌های به‌نژادی برای تهیه ژنوتیپ پرمحصول و پایدار به شمار می‌رود (Gauch, 2006; Cornelius & Crossa, 1999; Yan et al., 2010). از ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به اصلاح‌گران کمک می‌کند تا بتوانند ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری ارزیابی کرده و ژنوتیپ‌های برتر از نظر پایداری و عملکرد بالا را انتخاب کنند (Roy, 2000). وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نشان‌دهنده این است که بهترین ژنوتیپ در یک محیط ممکن است در محیط‌های دیگر بهترین ژنوتیپ نباشد (Perkins & Jinks, 1971). عکس‌العمل ژنوتیپ‌های مختلف معمولاً به دلیل پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آن‌ها در محیط‌های مختلف است (Fallconer, 1981).

روش‌های مختلفی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارایه شده که شامل متدهای تک متغیره، چند متغیره و ناپارامتری می‌باشند (Dehghanpour et al., 2007). از میان روش‌های چند متغیره می‌توان به روش بای پلات که بر مبنای تجزیه به مولفه‌های اصلی است، اشاره نمود. روش بای پلات ابزاری بسیار مفید جهت ارزیابی چشمی و تفسیر پاسخ الگوی ارقام، محیط‌ها و اثر متقابل آن‌ها می‌باشد. بای پلات نمایش گرافیکی و ارایه رفتار همزمان دو متغیر می‌باشد. این روش برای اولین بار توسط گابریل (Gabriel, 1971) پیشنهاد شد و به‌عنوان روش گرافیکی مناسبی برای تجزیه داده‌های با حجم زیاد توسط سایر محققین معرفی شد (Crossa et al., 1991; Gauch, 2006). روش بای پلات برای تفسیر نتایج رگرسیون مکان‌ها (Site Regression,

SREG) نیز استفاده می‌شود، در این روش اطلاعاتی درباره آزمایش‌های منطقه‌ای حاصل می‌شود. اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط ($G \times E$) که در مجموع آن‌ها را بصورت (GGE) نشان می‌دهند، فاکتورهای مهم در گزینش ارقام می‌باشند. برای رسم بای پلات باید از مقادیر حاصل از مدل‌های چند متغیره مربوط به ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در یک شکل و به طور همزمان استفاده کرد.

با استفاده از ویژگی‌های نمودار بای پلات و روش چند متغیره تجزیه به مولفه‌های اصلی، روش نوین GGE biplot معرفی شد. پژوهش‌های متعدد نشان داده است که در اکثر آزمایش‌های تجزیه پایداری، اثر اصلی محیط زیاد است، در حالی که تغییرات توجیه شده به وسیله اثر اصلی ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط که قابل تفسیر می‌باشند، کم است. از آنجایی که محیط عاملی غیرقابل کنترل است، از این رو در روش GGE بای پلات از منابع تغییرات ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط استفاده می‌شود تا بتوان نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد (Yan et al., 2001b; Yan et al., 2007). با توجه به مزیت‌های روش GGE بای پلات، استفاده از این مدل برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط پیشنهاد شده است (Yan, 2001a, 2002c; Crossa et al., 2002; Yan & Kang, 2003; Kaya et al., 2006; Laffont et al., 2007; Sabaghnia et al., 2008).

این محققین تاکید کرده‌اند که مدل فوق در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد، بیشترین کارایی را در توجیه تغییرات داشته و کاربرد آن نتایج بهتر و موثری داشته است. از روش GGE بای پلات، برای تجزیه پایداری گیاهان زراعی مختلف مثل کلزا (Pourdad et al., 2013)، گندم دوروم (Mohammadi et al., 2014)، گلرنگ (Jamshidi Moghaddam & Pourdad, 2012)، گندم (Yan & Hunt, 2002a; Yan et al., 2001b)، ذرت (Fan et al., 2007)، جو (Dehghani et al., 2006) و پنبه (Dimitrios et al., 2008) استفاده شده است. این روش از طریق نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به اصلاح‌گر 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 شناسایی محیط‌های هدف در برنامه‌های به‌نژادی را به سادگی میسر می‌سازد (Mohammadi et al., 2010).

از کاربردهای مهم روش GGE بای پلات، تعیین محیط‌های بزرگ برای گیاهان مختلف زراعی است که در آزمایش‌های تجزیه پایداری، با گروه‌بندی محیط‌های نسبتاً مشابه، محیط‌های بزرگتری برای هر محصول تعیین می‌شود که در سال‌های بعد می‌توان با توجه به این محیط‌های بزرگ، به تعیین ژنوتیپ‌های برتر (پایدار و پرمحصول) اقدام نمود (Javidfar et al., 2011). گروه‌بندی محیط‌ها برای محصولات زراعی هم‌چون جو (Dehghani et al., 2006; Mohammadi et al., 2009)، عدس (Sabaghnia et al., 2008)، گندم نان (Yan 2009)، گندم دوروم (Tinker, 2006; Kaya et al., 2006)، گندم سویا (Letta et al., 2008; Mohammadi et al., 2014)، سویا (Yan & Rajan, 2002b) و برنج (Samonte et al., 2005) انجام گرفته است.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط در آزمایش‌های چند محیطی، برای تعیین روابط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها، تعیین ژنوتیپ‌های ایده‌آل و معرفی پایدارترین ژنوتیپ جو از طریق روش گرافیکی GGE بای پلات در شرایط دیم سرد و سرد معتدل بود.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب در ۱۸ محیط (سه سال در شش منطقه) (جدول ۲) نشان داد که اثرات ساده سال، مکان و ژنوتیپ بر عملکرد دانه از نظر آماری معنی‌دار بود. معنی‌دار بودن اثر سال نشان داد که در سال‌های مختلف، عوامل جوی مانند نزولات آسمانی، حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا و خاک، مقدار پوشش برفی در مناطق و ... یکسان نبوده است. معنی‌دار بودن اثر مکان بر عملکرد دانه نشان داد که عواملی چون خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و ... موجب ایجاد اختلاف بین مکان‌ها گردیده‌اند. مقایسه میانگین عملکرد دانه در مکان‌های مختلف در سه سال نشان داد که ایستگاه سرارود با متوسط عملکرد دانه ۲۵۴۹ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد را نسبت به سایر مکان‌ها داشته و در رتبه اول قرار گرفت. ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، قاملو، ارومیه، اردبیل و زنجان نیز به ترتیب با متوسط عملکرد دانه ۲۲۷۷، ۱۸۷۸، ۱۸۶۸، ۱۶۲۳ و ۱۵۷۸ کیلوگرم در هکتار در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

عامل ژنوتیپ بر عملکرد دانه از نظر آماری اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). به عبارت دیگر از نظر عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌ها اختلافات ژنتیکی وجود داشت. مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آزمایشی در سه سال و شش مکان نشان داد که لاین ۴ در گروه آماری E، لاین‌های ۷ و ۱۰ در گروه آماری D و بقیه در کلاس شاهد قرار داشتند (جدول ۳). لاین شماره ۹ با متوسط عملکرد ۲۰۶۱ کیلوگرم در هکتار

این پژوهش درموسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور با ۱۲ ژنوتیپ جو شامل ۱۰ لاین پیشرفته و امید بخش (G1-G10) به همراه دو شاهد محلی و آیدر (G11 و G12) در ایستگاه‌های تحقیقاتی مناطق سردسیر و معتدل دیم مراغه (MAR)، سرارود (SAR)، اردبیل (ARD)، ارومیه (URM)، کردستان (قاملو) (GHA) و زنجان (قیدار) (ZAN) طی سه سال زراعی (۸۸-۱۳۸۵) و در مجموع ۱۸ محیط انجام گرفت (جدول ۱). در محیط‌های مذکور آزمایش‌ها به صورت یکنواخت به اجرا درآمده و ژنوتیپ‌ها نیز به عنوان فاکتور ثابت در نظر گرفته شدند. هر آزمایش در هر محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار تحت شرایط دیم اجرا شد. کرت‌ها در تمام محیط‌ها شامل ۶ خط ۶ متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر ($6 \times 1/2 = 7/2$) و مساحت برداشت ۶ متر مربع بود. میزان کود مصرفی بر اساس توصیه‌های کودی مناطق مورد اجرا بوده و میزان بذر هر رقم براساس ۴۰۰ بوته در متر مربع و با توجه به وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها منظور گردید. برای کنترل علف‌های هرز پهن برگ از سموم علف‌کش استفاده گردید. در طول دوره رشد و در هر سال، مهم‌ترین صفات و

مواد و روش‌ها

این پژوهش درموسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور با ۱۲ ژنوتیپ جو شامل ۱۰ لاین پیشرفته و امید بخش (G1-G10) به همراه دو شاهد محلی و آیدر (G11 و G12) در ایستگاه‌های تحقیقاتی مناطق سردسیر و معتدل دیم مراغه (MAR)، سرارود (SAR)، اردبیل (ARD)، ارومیه (URM)، کردستان (قاملو) (GHA) و زنجان (قیدار) (ZAN) طی سه سال زراعی (۸۸-۱۳۸۵) و در مجموع ۱۸ محیط انجام گرفت (جدول ۱). در محیط‌های مذکور آزمایش‌ها به صورت یکنواخت به اجرا درآمده و ژنوتیپ‌ها نیز به عنوان فاکتور ثابت در نظر گرفته شدند. هر آزمایش در هر محیط در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار تحت شرایط دیم اجرا شد. کرت‌ها در تمام محیط‌ها شامل ۶ خط ۶ متری با فاصله خطوط ۲۰ سانتی‌متر ($6 \times 1/2 = 7/2$) و مساحت برداشت ۶ متر مربع بود. میزان کود مصرفی بر اساس توصیه‌های کودی مناطق مورد اجرا بوده و میزان بذر هر رقم براساس ۴۰۰ بوته در متر مربع و با توجه به وزن هزار دانه ژنوتیپ‌ها منظور گردید. برای کنترل علف‌های هرز پهن برگ از سموم علف‌کش استفاده گردید. در طول دوره رشد و در هر سال، مهم‌ترین صفات و

آهک‌پز. تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام جو دیم با استفاده از مدل GGE biplot

وسیله خطوط مستقیم ترسیم شده است، به طوری که ژنوتیپ‌های دیگر در درون چند ضلعی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌های رأس، بردارهای طولی در جهت‌های مربوط به خود دارند که معیاری از میزان پاسخ به محیط است و لذا در زمره لاین‌های واکنش‌پذیر هستند. سایر ژنوتیپ‌ها در جهت‌های مربوط به خود واکنش کمتر نشان می‌دهند. لاین قرار گرفته در مبداء (G10)، در کلیه محیط‌ها داری رتبه یکسانی است و به هیچ وجه به محیط‌ها واکنش نشان نمی‌دهد. لاین‌های رأس در این مطالعه G1, G2, G3, G4, G5 و G9 بودند (شکل ۱). این لاین‌ها از نظر عملکرد دانه بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها بودند، زیرا بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات داشتند. خطوط عمود به ضلع‌ها، چند ضلعی بای پلات را به چند بخش تقسیم می‌کنند. هر بخش دارای یک ژنوتیپ رأس است و سایر لاین‌ها در برخی یا تمام محیط‌های آزمون از کمترین عملکرد برخوردار هستند. ژنوتیپ G1 بیشترین عملکرد را در اردبیل از خود نشان داد. ژنوتیپ G5 در محیط‌های زنجان، مراغه و ارومیه، بیشترین عملکرد را از خود نشان داد که علاوه بر آن، سه محیط فوق را می‌توان به عنوان یک محیط بزرگ فرض کرد. هم‌چنین لاین G3 در محیط قاملو و ژنوتیپ G4 در محیط سرارود برتر بودند. هیچ محیطی در بخشی که G9 به عنوان رقم رأس محسوب می‌شد، قرار نداشت. این امر نشان می‌دهد که لاین رأس مذکور در هیچ یک از محیط‌ها بهترین نیست. افزون بر نشان داد که این لاین در برخی یا همه محیط‌ها دارای کمترین عملکرد است. مندرجات جدول ۳ نشان داد که لاین G9 در مناطق قاملو، زنجان و اردبیل عملکرد کمتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها داشته است.

میانگین عملکرد و پایداری

تجسم میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها از طریق ترسیم یک مختصات محیط متوسط (AEC) در بای پلات مبتنی بر ژنوتیپ حاصل می‌شود. شکل ۲، رتبه بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس میانگین عملکرد دانه و میزان پایداری در محیط‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. ابتدا یک محیط متوسط که با یک دایره کوچک نشان داده شده است (شکل ۲)، با استفاده از میانگین نمره‌های PC1 و PC2 محیط‌ها تعریف می‌شود. خطی که از مبدأ بای پلات و محیط متوسط عبور می‌کند را می‌توان به عنوان محور محیط متوسط در نظر گرفت

بیشترین عملکرد را داشت. پس از آن رقم آبدرد (شماره ۱۲) و لاین ۵ به ترتیب با متوسط عملکرد دانه ۲۰۵۰ و ۲۰۲۴ کیلوگرم در هکتار قرار داشتند. کمترین متوسط عملکرد دانه با ۱۸۲۷ کیلوگرم در هکتار متعلق به ژنوتیپ ۴ بود (جدول ۳). در این مطالعه متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها ۱۹۶۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد.

اثر متقابل سال و مکان نیز از نظر آماری معنی‌دار بود که نشانگر این است که اثر سال روی مکان‌ها از سالی به سال دیگر متفاوت بوده است (جدول ۲). مندرجات جدول ۲ نشان داد که اثر متقابل سال و ژنوتیپ بر عملکرد دانه از نظر آماری معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌های مختلف از سالی به سال دیگر عملکرد متفاوتی نداشته و از پایداری عملکرد برخوردار بودند. هم‌چنین این نتایج نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ و مکان بر عملکرد دانه از نظر آماری معنی‌دار بود که نشان می‌دهد واکنش ژنوتیپ‌ها در مکان‌های مختلف یکسان نبوده است. به عبارت دیگر ژنوتیپ‌ها دارای سازگاری خصوصی بوده و در هر مکان ژنوتیپ خاصی پتانسیل عملکرد بیشتری داشته است. اثر متقابل سال و مکان و ژنوتیپ نیز از نظر آماری در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود که مفهوم آن این است که نوساناتی در ترتیب ژنوتیپ‌ها در هر یک از ترکیبات تیماری مکان و سال وجود داشته و وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط به طور کلی اجتناب ناپذیر می‌باشد. این مسئله در جو گزارش شده است (Chand et al., 2008; Agae et al., 2010).

بنابراین نتیجه‌گیری و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس نتایج تجزیه مرکب و مقایسه میانگین عملکرد دانه کافی نبوده و باید برای تعیین درجه پایداری عملکرد ژنوتیپ‌ها از روش‌های مختلف تجزیه پایداری استفاده کرد.

الگوی کدام- برتر- کجا

شکل ۱، نمایش چند ضلعی (پلی‌گون) از ۱۲ ژنوتیپ مورد بررسی در شش مکان را نشان می‌دهد. تجسم الگوی کدام- برتر- کجا در داده‌های چند محیطی برای مطالعه امکان وجود محیط‌های کلان در یک منطقه اهمیت دارد. نمای چند ضلعی بای پلات، بهترین روش برای تجسم الگوهای اثر متقابل بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و تفسیر صحیح یک بای پلات است (Yan & Tinker, 2006). چند ضلعی با پیوستن ژنوتیپ‌هایی که دورترین فاصله را از مبداء بای پلات دارند (ارقام رأس)، به

فاصله بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه و رقم ایده‌آل کمک می‌کنند. بنابراین، G5 نزدیکترین لاین به رقم ایده‌آل است و مطلوب‌تر از کلیه لاین‌های مورد آزمایش از نظر عملکرد و پایداری است (شکل ۳). در مقابل، ژنوتیپ G4 به عنوان لاین نامطلوب تعیین شد، زیرا دارای بیشترین فاصله از رقم ایده‌آل بود. در این پژوهش، رقم آبی‌در (G12)، از نظر مطلوب بودن، رتبه دوم را به خود اختصاص داد (شکل ۳).

روابط متقابل بین محیط‌ها

در شکل ۴ محیط‌ها از طریق خطوطی به نام بردارها با مبداء بای پلات مرتبط هستند. این نوع نما از بای پلات، به درک روابط متقابل بین محیط‌ها کمک می‌کند. کسینوس زاویه بین بردارهای دو محیط، برآوردی از ضریب همبستگی بین آن‌ها را به دست می‌دهد. به طوری که در این شکل مشخص است، زاویه بین بردارهای ZAN (زنجان) و MAR (مراغه) (به عنوان محیط‌های سرد) کمتر از ۹۰ درجه است. بنابراین تشابه بسیار زیادی بین این دو محیط وجود دارد که نشان می‌دهد این محیط‌ها در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها مشابه هم عمل می‌کنند. زاویه بین ARD (اردبیل) و SAR (سارود) ۱۸۰ درجه بود که نشان می‌دهد این دو محیط (به ترتیب به عنوان محیط‌های سرد و معتدل) در تفکیک و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها عکس هم عمل نموده‌اند (شکل ۴). نمای برداری یک بای پلات هم‌چنین به شناسایی محیط‌های آزمون زاید کمک می‌کند. اگر برخی از محیط‌ها دارای زاویه‌های کوچک باشند، همبستگی مثبت بالایی دارند و بنابراین اطلاعات حاصل از ژنوتیپ‌ها در این محیط‌ها باید مشابه باشد. اگر این شباهت در طی سال‌ها قابل تکرار باشد، این محیط‌ها زاید محسوب می‌شوند و یک محیط از میان آن‌ها کافی است. اخذ اطلاعات یکسان یا بهتر و استفاده از محیط‌های آزمون کمتر، هزینه را کاهش داده و کارایی اصلاحی را افزایش خواهد داد. در این تحقیق محیط‌های ZAN و MAR همبستگی بسیار زیادی داشتند و بنابراین به منظور کاهش هزینه آزمایش، امکان حذف یکی از این دو مکان وجود دارد (شکل ۴).

توانایی تمایز و نماینده بودن محیط‌ها

اگرچه آزمایش‌های چند محیطی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها به کار می‌روند، آن‌ها را می‌توان برای ارزیابی محیط‌ها نیز به کار برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپ‌ها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از محیط هدف

که عبارت از محور افقی AEC است. ارقام در طول این محور رتبه‌بندی شدند و پیکان، میانگین عملکرد بیشتر را نشان می‌دهد. در این شکل لاین‌های G5 و G4 به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین عملکرد را دارا بودند. میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها به ترتیب زیر بود (شکل ۲):

$$G5 > G3 \approx G12 \approx G9 > G1 > G2 \approx G6 > G10 \approx G8 > G11 > G7 > G4$$

محور عمودی AEC، از یک خط با دو پیکان تشکیل می‌شود که از مبداء بای پلات می‌گذرد و عمود بر محور افقی AEC است. عمود معنی اورتوگونال (مستقل) را می‌دهد. بنابراین اگر محور افقی AEC نشان دهنده G باشد، محور عمودی AEC باید برآوردی از اثر متقابل ژنوتیپ و محیط مرتبط با هر ژنوتیپ را فراهم کند که معیار تغییرپذیری یا ناپایداری ژنوتیپ‌ها است. پیکان دو سر بیان می‌دارد که تصاویر بزرگ‌تر روی محور عمودی AEC، صرف نظر از جهت آن‌ها، به مفهوم ناپایداری بیشتر است. بنابراین G1 که نزدیک به بالا و G3 نزدیک به پایین بای پلات قرار دارند، متغیرتر بوده و پایداری کمتری نسبت به سایر ارقام دارند. لاین‌های نزدیک به محور افقی AEC (G5، G10، G11، G7) پایداری کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند. مطابق شکل ۲، ژنوتیپ G4 دارای عملکرد پایین و پایداری کم و ژنوتیپ G5 عملکرد و پایداری بالایی داشت. هم‌چنین ژنوتیپ‌های G2، G6، G8 دارای عملکرد متوسط و نسبتاً ناپایدار بودند.

دایره کوچک در شکل ۲ که روی محور افقی AEC واقع است و با یک پیکان به آن اشاره شده است، نشان‌دهنده رقم ایده‌آل است که به وسیله دو معیار تعریف می‌شود: (۱) دارای بالاترین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه است و (۲) کاملاً پایدار نسبت به شرایط محیطی است زیرا بر محور افقی AEC قرار گرفته است (Yan, 2002c). چنین ژنوتیپی به عنوان لاینی که دارای بیشترین طول بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط باشد، تعریف شده است. چنین رقم ایده‌آلی به ندرت در واقعیت وجود دارد. با این حال، می‌توان آن را به عنوان یک مرجع برای ارزیابی ارقام استفاده کرد. برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به عنوان مرجع ارزیابی، دایره‌های هم مرکزی در بای پلات به منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۳). دایره هم مرکز، با برخورداری از ژنوتیپ ایده‌آل در مرکز، به تجسم

آهک‌پز. تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام جو دیم با استفاده از مدل GGE biplot

باشد (Yan *et al.*, 2010). محیط آزمون فاقد توانایی تمایز، هیچ نوع اطلاعاتی را درباره ارقام فراهم نمی‌کند، در نتیجه این محیط آزمون قابل استفاده نیست. همچنین اگر یک محیط آزمون نمایانگر محیط هدف نباشد، نه تنها بی‌فایده است، بلکه به علت فراهم نمودن اطلاعات اریب احتمالی درباره ارقام مورد آزمایش، می‌تواند گمراه کننده نیز باشد (Letta *et al.*, 2008). این ویژگی برای محیط‌های ایده‌آل در محصولات مختلف زراعی هم‌چون جو (Koocheki *et al.*, 2012)، گندم دوروم (Mohammadi *et al.*, 2010)، ذرت (Fan *et al.*, 2007) و پنبه (Dimitrios *et al.*, 2008) مورد استفاده قرار گرفته است. روش شناسایی یک محیط نمونه در بای پلات، عبارت از تعریف یک محیط متوسط و استفاده از آن به عنوان مرجع یا معیار است. محیط متوسط در شکل ۵ به وسیله یک دایره کوچک نشان داده شده است. همان طور که قبلاً عنوان شد، خطی که از مبدأ بای پلات و محیط متوسط می‌گذرد، AEC است. زاویه بین بردار یک محیط (در شکل ترسیم نشده است) و محور AEC، معیاری برای شناسایی محیط نمونه است. از این رو، در این پژوهش محیط URM (ارومیه) بیشتر نمایانگر محیط متوسط است (شکل ۵). توانایی تفکیک و تمایز یک محیط به توانایی آن برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپ‌ها برمی‌گردد، اما توانایی نمایندگی یک محیط بیان می‌کند که یک محیط نماینده شرایط سایر محیط‌ها در مطالعه مورد نظر است (Blanche and Myers, 2006). بنابراین محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو خصوصیت را برای توسعه مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد. این خصوصیات در مدل بای پلات تحت عنوان قدرت تفکیک محیط‌ها در مقابل نمایندگی آن‌ها آورده شده است (Yan & Tinker, 2006). دایره کوچک روی محور AEC که با پیکان به آن اشاره شده است، محیط ایده‌آل را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌شود که محیط URM نزدیکترین محیط آزمون به محیط ایده‌آل است و بنابراین از همه محیط‌ها مطلوب‌تر است.

مقایسه عملکرد ژنوتیپ‌ها در بهترین محیط

مقایسه میانگین عملکرد در شش مکان مورد بررسی نشان داد که مکان SAR (سرارود) دارای بیشترین پتانسیل عملکرد است (جدول ۳). شکل ۶، مقایسه گرافیکی عملکرد نسبی تمام ژنوتیپ‌ها در این محیط را نشان می‌دهد. خطی که از مرکز بای

پلات و از نقطه مربوط به محیط SAR گذشته است، محور محیطی SAR نام دارد. خطوط عمود بر این خط (که در شکل ترسیم نشده است) توسط هر ژنوتیپ، فاصله و رتبه آن‌ها را نسبت به این محیط نشان می‌دهد. بنابراین لاین G4 بیشترین عملکرد و G1 کمترین عملکرد را در محیط آزمون SAR (سرارود) دارا بودند. خطی که از مبدأ بای پلات عبور می‌کند و عمود بر محور SAR است، ژنوتیپ‌هایی را که در این محیط عملکرد بیشتر از میانگین دارند (از G4 تا G11) و آن‌هایی که عملکرد کمتر از میانگین دارند (از G1 تا G5) را جدا می‌کند (شکل ۶).

سازگاری نسبی رقم خاص به محیط‌های مختلف

شکل ۷ سازگاری نسبی لاین G5 که نزدیک ترین ژنوتیپ به رقم ایده آل بود (شکل ۲)، را در محیط‌های مختلف نشان می‌دهد. محیط‌ها در طول محور G5 در جهت نشان داده شده توسط پیکان رتبه‌بندی شده‌اند. خطی که از مبدأ بای پلات می‌گذرد و عمود بر محور G5 است محیط‌هایی که G5 در آن‌ها عملکرد کمتر از میانگین دارد را از محیط‌هایی که در آن‌ها عملکرد بیش از میانگین دارد، جدا می‌کند. بر اساس شکل ۷ لاین G5 تقریباً به طور یکسان به محیط‌های ZAN (زنجان)، MAR (مراغه) و URM (ارومیه) سازگار بود. ولتاز و همکاران (Voltas *et al.*, 2005) و ساماتنه و همکاران (Samonte *et al.*, 2005) تاکید کرده‌اند که مدل رگرسیون مکانی در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد محیط، بیشترین کارایی را در توجیه تغییرات داشته و استفاده از آن نتایج بهتر و موثرتری در برداشته است. در این پژوهش نیز چنین ویژگی دیده شد و ژنوتیپ شماره ۵ با پتانسیل عملکرد بالا و پایداری بیشتر، بهتر از رقم آیدر (G12) عمل نمود و به عنوان ژنوتیپ نزدیک به ایده‌آل معرفی شد که به برنامه‌های به زراعی و آزمایش‌های تحقیقی تطبیقی می‌تواند پیشنهاد شود. در پایان چنین نتیجه‌گیری می‌شود که اگرچه به نژادی ارقام سازگار و پایدار برای پهنه گسترده اقلیم سرد و معتدل مشکلات مختص به خود را دارد، لیکن انتخاب ژنوتیپ‌های پر محصول با سازگاری عمومی و یا خصوصی با استفاده از اطلاعات مستخرج از این چنین تجزیه و تحلیل‌های پایداری، میسر خواهد بود.

Table 1. Pedigree of the studied barley varieties and lines

جدول ۱- شجره ارقام و لاین های جو تحت بررسی

Line number	Pedigree
1	Yesevi-93/Sahand OMR-OMR-OMA-OMR-OMR
2	Rhn-03/Lignee 640//ICB-102411/4/Arr/Esp//Alger/Ceres 362-1-1/3/ICB-100175 ICBH96-0577-OAP-OMR-OMR-OMA-OMR-OMR
3	Mahali Shehr Kurd/Tokak ICBH97-0011-OMR-OMR
4	Roho//Alger/Ceres362-1-1/3/Alpha/Durra/4/ICB-107766/3/Yea560.2//Luther/BK259 ICB01-1724
5	PAMIR-158/ZDM1454 ICBH95-0211-0AP-0Shi-0Shi-5Shi
6	TARM-92
7	ALPHA/QUINN//PAMIR68
8	YESEVI93//TIRCHMIR-43
9	TOKAK//STEPTO/ANTARES
10	MAHALI SHEHR KURD/3/CWB117-77-9-7//...
11	Local check
12	Abidar (Check)

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ های جو طی سه سال بررسی در شش مکان

Table 2. Combined analysis of variance for grain yield of genotypes in three years and six locations

S.O.V.	D.F.	Mean of squares
Year (Y)	2	149550075**
Location (L)	5	20785978**
Y×L	10	26457424**
Error 1	54	529609
Genotype (G)	11	338193**
G×Y	22	210416 ^{ns}
G×L	55	289933**
G×Y×L	110	175987*
error 2	594	140366

ns, **, * به ترتیب غیرمعنی دار، معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

ns, **, *: non-significant and significant at 1% and 5% of probability levels, respectively.

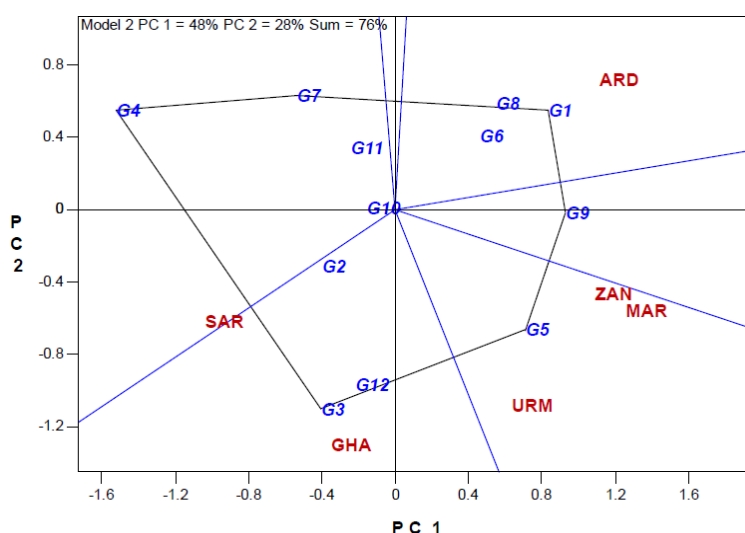
GGE biplot آهک پز. تجزیه پایداری عملکرد دانه لاینها و ارقام جو دیم با استفاده از مدل

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپها در سالها و مکانها و تک تک مکانها در سه سال

Table 3. Comparison of mean yield of genotypes in years and locations and each location in three years

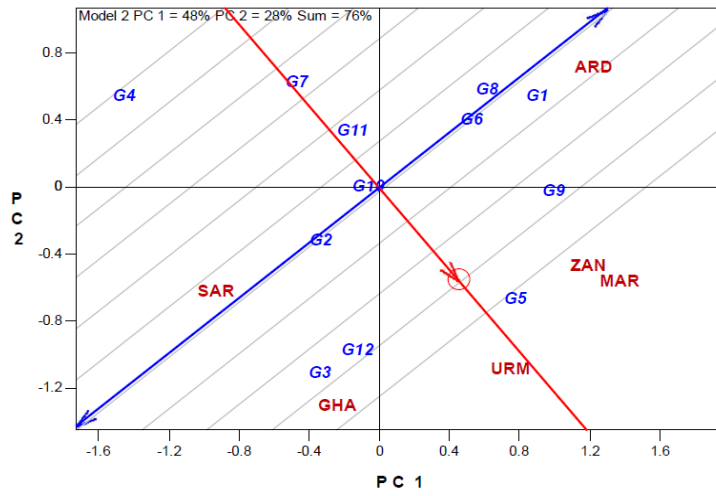
Genotype	Mean yield in years and locations	Grain yield (Kg/ha)					
		Maragheh	Ghamloo	Sararood	Zanjan	Ardabil	Uromiyeh
1	1969 ^c	2471 ^c	1693 ^c	2324 ^e	1583 ^c	1850 ^b	1892 ^c
2	1987 ^c	2223 ^c	2020 ^c	2716 ^c	1567 ^c	1576 ^c	1823 ^c
3	2000 ^c	2292 ^c	2101 ^c	2702 ^c	1573 ^c	1348 ^c	1892 ^c
4	1827 ^e	1941 ^d	1820 ^c	2818 ^c	1337 ^c	1351 ^c	1701 ^d
5	2024 ^c	2531 ^c	2003 ^c	2359 ^e	1675 ^c	1608 ^c	1969 ^c
6	1958 ^c	2339 ^c	1894 ^c	2302 ^e	1577 ^c	1825 ^b	1811 ^c
7	1890 ^d	2074 ^c	1743 ^c	2611 ^c	1398 ^c	1660 ^c	1855 ^c
8	1930 ^c	2300 ^c	1627 ^d	2396 ^e	1705 ^c	1689 ^c	1865 ^c
9	2061 ^c	2387 ^c	1815 ^c	2508 ^d	1756 ^c	1934 ^a	1964 ^c
10	1903 ^d	2270 ^c	1933 ^c	2367 ^e	1475 ^c	1506 ^c	1865 ^c
11	1945 ^c	2197 ^c	1927 ^c	2593 ^c	1666 ^c	1631 ^c	1653 ^d
12 (Check)	2050 ^c	2297 ^c	1959 ^c	2892 ^c	1628 ^c	1492 ^c	2032 ^c
LSD5% genotype	122.6						
LSD1% genotype	161.4						
LSD5%							300.4
LSD1%							395.2

Means with common letter(s) in each column are not significantly different at 5% of probability level.



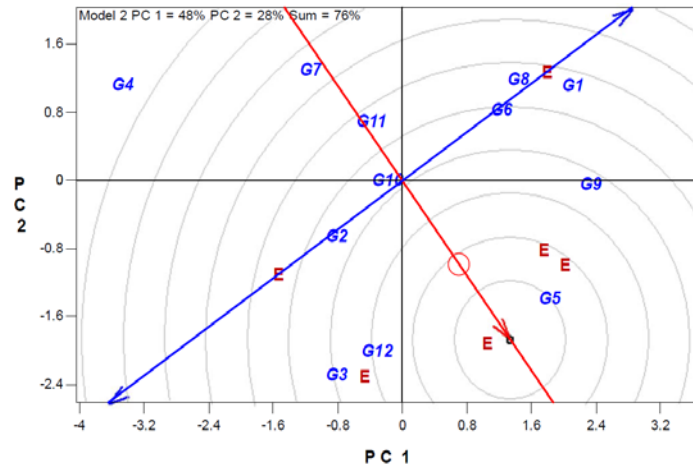
شکل ۱- نمایش گرافیکی انطباق ژنوتیپهای جو با محیطهای مورد مطالعه

Figure1. Graphical display for barley genotypes adapted to the environments studied



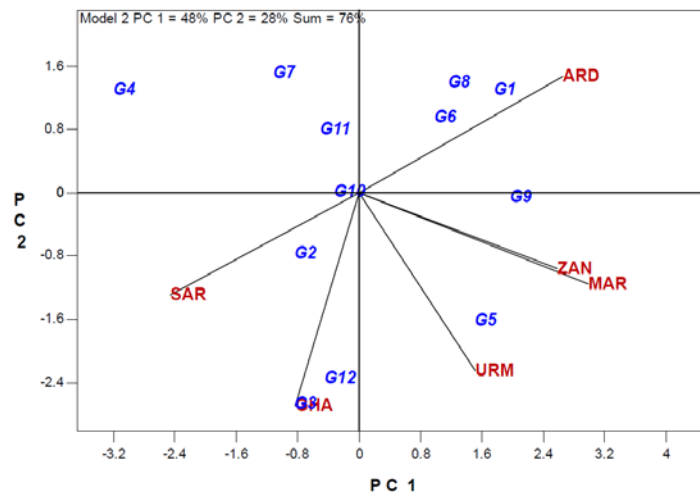
شکل ۲- بای پلات رتبه بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و پایداری

Figure 2. Genotype ranking biplot on the basis of yield mean and stability



شکل ۳- بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌ها با ژنوتیپ ایده آل برای میانگین عملکرد و پایداری

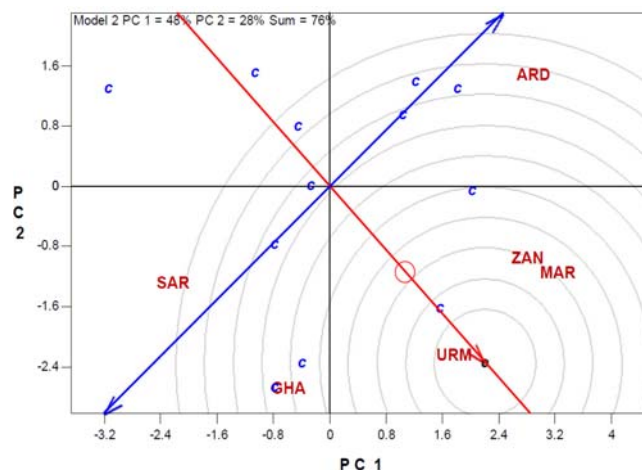
Figure 3. Genotype comparison biplot with an ideal genotype for yield mean and stability



شکل ۴- نمایش برداری GGE بای پلات

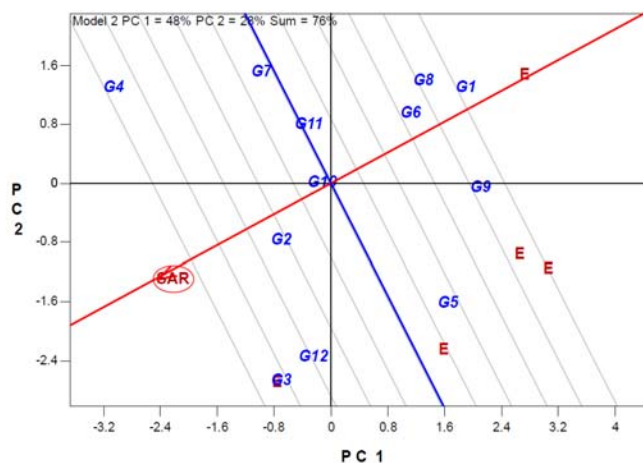
Figure 4. Vector exhibition of GGE biplot

آهک‌پز. تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام جو دیم با استفاده از مدل GGE biplot



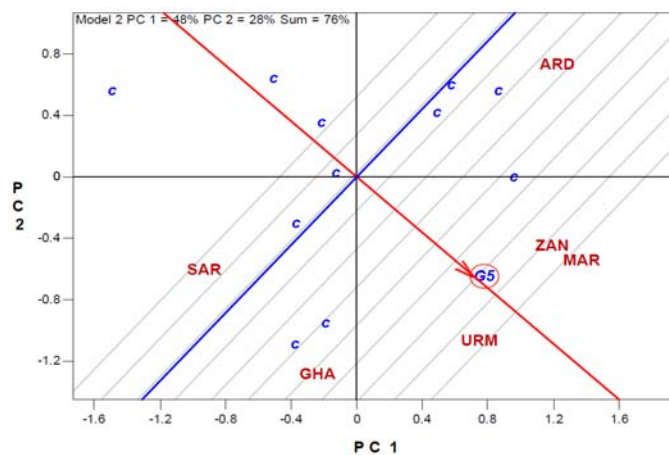
شکل ۵- بای پلات مقایسه محیط‌ها با محیط ایده‌آل بر اساس توانایی تمایز و نماینده بودن محیط هدف

Figure 5. Biplot for comparison of environments with the ideal based on the discriminating and representiveness ability of the target environment.



شکل ۶- بای پلات رتبه‌بندی گرافیکی ژنوتیپ‌ها در محیط SAR (سرارود) با بیشترین پتانسیل عملکرد

Figure 6. Biplot which shows ranking of genotypes in SAR environment with the highest yield potential



شکل ۷- بای پلات وضعیت عملکرد ژنوتیپ G5

Figure 7. Biplot which shows condition of G5 genotype

References

- Agae M, Rajabi R, Ansari Y (2010) Evaluation of grain yield stability and two-steps screening for drought stress tolerance in barley genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 12 (3): 305-317. [In Persian with English Abstract].
- Blanche SB, Myers GO (2006) Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. Crop Science 46: 946-949.
- Chand N, Vishvakarma SR, Verma OP, Kumar M (2008) Phenotypic stability of elite barley lines over heterogeneous environments. Barley Genetics Newsletter 38: 14-17.
- Cornelius PL, Crossa J (1999) Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multi-environment cultivar trials. Crop Science 39: 98-1009.
- Crossa J, Cornelius PL, Yan W (2002) Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype \times environment interaction. Crop Science 42: 136-144.
- Crossa J, Fox PN, Pfeiffer WH, Rajaram S, Gauch HG (1991) AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. Theoretical and Applied Genetics 81: 27-37.
- Dehghani H, Ebadi A, Yousefi A (2006) Biplot analysis of genotype by environment interaction for barley yield in Iran. Agronomy Journal 98: 388-393.
- Dehghanpour Z, Karimizadeh R, Dehghani H, Sabaghnia N (2007) Determination of adaptability and stability of seed yield in foreign earl maturity corn hybrids. Iranian Journal of Agricultural Sciences 38: 249-257. [In Persian with English Abstract].
- Dimitrios B, Christos G, Jesus R, Eva B (2008) Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. Agronomy Journal 100: 1230-1236.
- Falconer DS (1981) Introduction to Quantitative Genetics. 2nd ed Longman Press. London, UK.
- 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.
- FAO (2008) Production Yearbook, Rome. <http://faostat.fao.org>.
- Gabriel KR (1971) The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. Biometrika 58: 453-467.
- Gauch HG (2006) Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. Crop Science 46: 1488-1500.
- Jamshidi Moghaddam M, Pourdad S (2012) Evaluation of seed yield adaptability of spring safflower genotypes using nonparametric parameters and GGE biplot method in rain-fed conditions. Seed and Plant Improvement Journal 29(1): 29-41.
- Javidfar F, Alizadeh B, Amirioghan H, Sabbaghnia N (2011) A study of genotype by environment interaction in oilseed rape genotypes, using GGE Biplot method. Iranian Journal of Field Crop Science 41: 771-779. [In Persian with English Abstract].
- Kaya Y, Akcura M, Taner S (2006) GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 30: 325-337.
- Koocheki A, Sorkhi B, Eslam Zade Hesari M (2012) Yield stability of barley elite genotypes in cold regions of Iran using GGE biplot. Seed and Plant Improvement Journal 28(4): 26-39.
- Laffont JL, Hanafi M, Wright K (2007) Numerical and graphical measures to facilitate the interpretation of GGE biplots. Crop Science 47: 990-996.
- Letta T, D'Egidio MG, 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.
- Milomirka Madic A, Paunovic A, Knezevic D (2005) Correlation and path coefficient analysis for yield and yield components in winter barley. Acta Agriculture Serbica 20: 3-9.
- Mohammadi R, Armion M, Zadhassan E, Eskandari M (2014) Analysis of genotype and environment interaction for grain yield in rain-fed durum wheat. Journal of Dryland Agriculture of Iran 1(4): 23-32.
- Mohammadi R, Amri A, Ansari Y (2009) Biplot analysis of rainfed barley multi environment trials in Iran. Agronomy Journal 101: 789-796.
- Mohammadi R, Haghparast R, Amri A, Ceccarelli S (2010) Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi environment trials. Crop and Pasture Science 61: 92-101.
- Perkins JM, Jinks JL (1971) Environmental and genotype environment components of variability.III. Multiple line and crosses. Heredity 23: 339-356.
- Pourdard S, Jamshidi Moghaddam M (2013) Study on genotype and environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. Journal of Crop Breeding 5(12): 12-23.
- Roozeboom KL, Schapaugh TW, Tuinstra MR, Vanderlip RL, Milliken G (2008) Testing wheat in variable environments: Genotype, environment, interaction effects, and grouping test locations. Crop Science 48: 317-330.
- Roy D (2000) Plant breeding analysis and exploitation of variation. Alpha Science International Ltd. UK.
- Sabaghnia N, Dehghani H, Sabaghpour SH (2008) Graphic analysis of genotype and environment interaction for lentil (*Lens culinaris* Medik) yield in Iran. Agronomy Journal 100: 760-764.

- 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.
- Volta J, Lopez-Corles H, Borrás 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, Fregeau-Reid JA, Pageau D, Martin RA, Mitchell fetch JW, Etienne M, Rowsell J, Scott P, Price M, De Haan B, Cumiskey A, Lajeunesse J, Durand J, Sperry E (2010) Identifying essential test locations for oat breeding in eastern Canada. *Crop Science* 50: 504-515.
- Yan W, Kang MS, Ma B, Woods S, Cornelius PL (2007) GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Science* 47: 643–655.
- Yan W (2001a) 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 (2002c) Singular-value partitioning in Biplot analysis of multi-environment trial data. *Agronomy Journal* 94: 990–996.
- Yan W, Kang MS (2003) GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Yan W, Cornelius PL, Crossa J, Hunt LA (2001b) Two types of GGE biplots for analyzing multi environment trial data. *Crop Science* 41: 656–663.
- Yan W, Hunt LA (2002a) Biplot analysis of diallel data. *Crop Science* 42: 21– 30.
- Yan W, Tinker NA (2006) Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 623–645.
- Yan W, Rajcan I (2002b) Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11–20.