



فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

۱۵-۳۲

مقاله پژوهشی

بررسی میزان سازگاری هیبریدهای امیدبخش ذرت دانه‌ای به تغییرات محیطی در منطقه‌های مختلف کشور

حسین مومنی^۱، محمدرضا شیر^{۲*}، اسلام مجیدی هروان^۱ و محمود خسروشاهی^۱

^۱ گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۲ مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۵

مؤمّنی، ح.، م.ر. شیر، ا. مجیدی هروان و م. خسروشاهی. ۱۴۰۰. بررسی میزان سازگاری هیبریدهای امیدبخش ذرت دانه‌ای به تغییرات محیطی در منطقه‌های مختلف کشور. فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۴): ۱۵-۳۲.

سابقه و هدف: برای سازگاری در مقابل تغییرات آب و هوایی، پایداری سیستم‌های کشاورزی نقش کلیدی را دارند. شواهد زیادی وجود دارد که مشخص می‌کند با تغییر شرایط محیطی، تنوع زیستی می‌تواند سبب افزایش ثبات فرایندهای اکوسیستمی گردد. بنابراین کارآیی برنامه‌های اصلاح نیازمند درک صحیحی از عکس‌العمل ارقام اصلاح شده به محیط‌های با شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت می‌باشد. بنابراین این تحقیق، به‌منظور بررسی پاسخ هیبریدهای جدید ذرت دانه‌ای نسبت به شرایط متفاوت محیطی و تعیین پایداری عملکرد دانه آن‌ها انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: این بررسی با استفاده از ۱۶ هیبرید ذرت دانه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در هفت منطقه با شرایط اقلیمی و جغرافیایی متفاوت در سال ۱۳۹۷ به اجرا درآمد. با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل هیبرید × محیط، تجزیه پایداری استفاده از دو روش چند متغیره AMMI و GGE biplot انجام شد، تا پایدارترین و پرمحصول‌ترین هیبریدها شناسایی شوند.

نتایج و بحث: براساس نتایج مدل AMMI، فقط دو مؤلفه اصلی اول مدل AMMI (AMMI1 و AMMI2) معنی‌دار شدند و ۶۸/۵۳ درصد تغییرات اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه نمود. براساس آماره‌های مدل AMMI (ASV و SPCA1) هیبریدهای شماره ۱۶ (SC704) و ۱ (K18) × (KLM77002/3-1-1-1-1-3) به‌عنوان هیبریدهایی با پایداری بالاتر انتخاب شدند. نتایج انجام تجزیه پایداری با روش GGE biplot گویای توجیه ۷۱/۵ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه، با دو مؤلفه اول و دوم GGE biplot بود. هیبریدهای شماره ۱۶ (SC704)، ۱ (K18) × (KLM77002/3-1-1-1-1-3) و ۱۴ (B73) × (KLM77029/8-1-1-1-2-2-2) به‌عنوان هیبریدهایی با پایداری بالاتر با روش گرافیکی GGEbiplot انتخاب شدند.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی براساس عملکرد دانه و تحلیل پایداری با روش‌های مختلف هیبریدهای شماره ۱۶ (SC704) و ۱ (KLM77002/3-

* Corresponding Author: Email Address. mr.shiri@aeero.ac.ir
<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.33459>
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1400.19.4.5.3>

(K18 × 1-1-1-1-1-3) به ترتیب با عملکرد دانه ۱۲/۷۶ و ۱۱/۷۲ تن در هکتار به‌عنوان پایدارترین و پرمحصول‌ترین هیبریدها با سازگاری عمومی بالایی بودند و می‌توانند مورد کشت در کشور قرار گیرند. بررسی بای‌پلات ۱ همبستگی بین منطقه‌ها نشان داد که بردارهای محیطی کرمانشاه، اصفهان و شیراز و همچنین منطقه‌های مغان و میان‌دوآب بسیار نزدیک به هم بوده، بنابراین این محیط‌ها در رتبه بندی و گروه بندی هیبریدها شبیه هم بودند. همچنین منطقه‌های کرمان و کرج از نظر تفکیک هیبریدها مشابهت کمتری با سایر منطقه‌ها داشتند. بنابراین با توجه قدرت تفکیک بالای هیبریدها در منطقه‌های شیراز، میان‌دوآب، کرمان و کرج توصیه می‌شود جهت صرفه‌جویی در هزینه آزمایش‌ها در سال‌های آتی به جای هفت منطقه، آزمایش‌ها در این چهار منطقه انجام پذیرد.

واژه‌های کلیدی: امی^۲، گرافیکی، GGE biplot، سازگاری.

مقدمه

با افزایش تغییر پذیری اقلیم که بیشتر با کاهش پایداری عملکرد نیز همراه بوده، اهمیت بیشتری پیدا کرده است (Müller *et al.* 2018; Najafi *et al.* 2018; Ray *et al.* 2015; Tigchelaar *et al.* 2018).

یکی از عوامل‌های کند نمودن روند اصلاح و معرفی ارقام در منطقه‌های مختلف، اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد. اثر متقابل ژنوتیپ × محیط اطلاعات با ارزشی در رابطه با عکس‌العمل عملکرد ارقام در محیط‌های مختلف فراهم می‌کند و نقش مهمی را برای ارزیابی پایداری عملکرد مواد اصلاحی بازی می‌کند (Karadavu *et al.* 2016; Shiri, 2010). در این رابطه، روش‌های زیادی به‌منظور برآورد پایداری ژنوتیپی و نیز تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ × محیط توسط محققان مختلف پیشنهاد شده‌اند. Flores *et al.* (1998) این روش‌ها را به سه گروه پارامتری، ناپارامتری و چندمتغیره تقسیم‌بندی کردند. در روش‌های تک‌متغیره (گروه پارامتری، ناپارامتری) سعی می‌شود که پاسخ ژنوتیپ به محیط از طریق محاسبه یک سنجه پایداری توجیه شود. بنابراین، ممکن است یک ژنوتیپ در یک ارزیابی پایدار در روش دیگر ناپایدار شناخته شود و نتیجه مشابهی به‌دست نیاید. اما در تجزیه‌های چند متغیره مانند تجزیه AMMI^۲ (Gauch, 1992)، پاسخ و واکنش یک ژنوتیپ در چند محیط مختلف ممکن است در یک فضای چندبعدی توصیف شود و بنابراین این روش‌ها می‌توانند تفسیر آزمایش‌های یکنواخت سراسری عملکرد را ساده‌تر کنند

یکی از هدف‌های مهم در به‌نژادی ذرت^۳، پایداری ارقام در شرایط مختلف محیطی است. پایداری عملکرد یک گیاه زراعی در واقع عبارت از توانایی تولید موفقیت آمیز آن در محیط‌های متفاوت می‌باشد، به‌طوری‌که یک گیاه بایستی بتواند سرما، گرما، کمبود یا اضافه بودن آب، تغییرات طول روز، شدت نور و دامنه وسیعی از شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک را در جهت رشد و نمو موفقیت آمیز خود تحمل نماید (Branković-Radojčić *et al.*, 2018). برای سازگاری در مقابل تغییرات آب و هوایی، پایداری سیستم‌های کشاورزی نقش کلیدی را دارند (Olesen *et al.* 2011). شواهد زیادی وجود دارد که مشخص می‌کند با تغییر شرایط محیطی، تنوع زیستی می‌تواند سبب افزایش ثبات فرایندهای اکوسیستمی گردد. بنابراین بایستی تلاش‌های اساسی و زیادی از طریق اصلاح نباتات (Mühleisen *et al.*, 2014; Chamekh *et al.*, 2015) و مدیریت زراعی (Smith *et al.*, 2007) در جهت کاهش تغییرات عملکرد محصول صورت پذیرد. در مواجهه با تغییرات جهانی اقلیم و افزایش تغییرات محیطی، پایداری عملکرد بالای گیاهان زراعی، هدف مشترک مهم بین کشاورزان، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان می‌باشد (Peltonen-Sainio *et al.*, 2010; Reidsma *et al.*, 2010). از سوی دیگر، استراتژی‌های سازگاری، وابستگی زیادی به شرایط اقتصادی - اجتماعی و مدیریت مزرعه دارد (Reidsma *et al.*, 2010). تجزیه پایداری عملکرد، در سال‌های اخیر

برای محیط‌های نامساعد را شناسایی می‌کند. افزون بر این‌ها استفاده از مدل AMMI برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط به کرات توسط محققان در ذرت گزارش شده است (Branković-Radojčić *et al.*, 2018; Božović *et al.*, 2018; Basafa and Taheriyani, 2016; Boshev *et al.*, 2014).

روش GGE biplot (ژنوتیپ + ژنوتیپ \times محیط) یکی از روش‌های نوین در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط بوده که در آن اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط از هم تفکیک نشده و گزینش رقم‌های پایدار براساس هر دو اثر بیان شده صورت می‌گیرد (Yan, *et al.*, 2000). آن‌چه که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار دارای اهمیت است، این می‌باشد که اثر محیط در بیشتر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره‌برداری نیست. بنابراین، حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط (GE) دارای اهمیت است (Yan and Kang, 2003). تنها اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ \times محیط است که در گزینش ارقام پایدار اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ \times محیط می‌بایست به‌صورت همزمان بررسی شوند. روش GGE biplot این امکان را می‌دهد که این دو اثر (ژنوتیپ و ژنوتیپ \times محیط) همزمان و به‌صورت گرافیکی مورد بررسی قرار گیرند (Yan, 2001). تغییر در رتبه ارقام در پاسخ به شرایط محیطی (اثر متقابل کراس‌اور) و تغییر در مقدار پاسخ به شرایط محیطی بدون تغییر در رتبه (اثر متقابل غیرکراس‌اور) سهم به‌سزایی در طرح‌ریزی راهبرد به‌نژادی داشته باشد. اثر متقابل کراس‌اور پیچیده‌ترین نوع اثر متقابل در گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها در یک برنامه به‌نژادی است (Pourdad and Jamshid Moghaddam, 2013). محدودیت مدل AMMI این است که نمی‌تواند اثرات متقابل کراس‌اور^۵ (تغییر رتبه وارسته‌ها در محیط‌های مختلف) و غیرکراس‌اور^۶ را از یک‌دیگر تمیز دهد در

و ارتباط پیچیده و مرکب بین مکان‌ها، ژنوتیپ‌ها یا بین هر دو را به دقت توسط یک دیاگرام پراکنش توضیح دهند. بررسی‌های Zobel *et al.* (1998) نشان داد که مدل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی یک مدل ضربی است و بنابراین هیچ نوع منبع تغییری برای آزمون اثرهای اصلی جمع‌پذیر در آن وجود ندارد. پس روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دارای مشکل تفسیر اثرهای اصلی است و در نتیجه اثر متقابل نیز که طبق تعریف، باقی‌مانده حاصل از مدل جمع‌پذیر است، به خوبی ارزیابی نمی‌شود. مدل AMMI را Zobel *et al.* (1998)، به‌طور مفصل بسط داده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و اظهار داشتند که مدل AMMI ترکیبی از مدل تجزیه واریانس و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی است و شامل اثرهای اصلی ژنوتیپ و محیط و یک یا چند اثر متقابل ضربی است و یک مؤلفه تصادفی به نام باقی‌مانده یا خطا به آن اضافه می‌شود. مؤلفه‌های AMMI، معیار معتبری برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها و ارتباط بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها می‌باشند. اگر چندین مؤلفه از مؤلفه‌های اثر متقابل در مدل AMMI از لحاظ آماری معنی‌دار باشند، نشان‌دهنده وجود اثر متقابل پیچیده ژنوتیپ \times محیط می‌باشد (Gauch and Zobel, 1997). (Purchase (1997) با استفاده از مدل AMMI، آماره ارزش پایداری AMMI (ASV - AMMI stability value) معتبری برای برآورد پایداری ژنوتیپ‌ها ارائه نمود. روش‌های مختلف پایداری توسط Albert (2004)، برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ \times محیط در ذرت استفاده شده و ایشان بیان داشت که مدل AMMI نه تنها پایدارترین ژنوتیپ‌ها را معرفی می‌کند، بلکه می‌تواند بیانگر سازگاری خصوصی ارقام نیز پارامتر ارزش پایداری AMMI، مفهوم استاتیکی پایداری را بیان می‌کند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی که با این روش معرفی می‌شوند، ممکن است از عملکرد متوسط برخوردار باشند. از طرفی این روش ژنوتیپ‌های ایده‌آل

تابستان گرم و خشک، جزء منطقه‌های نیمه خشک محسوب می‌شود. براساس میانگین داده‌های سی ساله اخیر اداره هواشناسی کرج، متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۲۴۳ میلی‌متر بوده و بارندگی‌ها به‌طور عمده در اواخر پاییز و اوایل بهار روی می‌دهد. همچنین بافت خاک محل آزمایش دارای بافت لومی - شنی با اسیدیته برابر با ۷/۵ و هدایت الکتریکی ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر بود (Ebrahimi, and Delkhoush, 2011).

منطقه 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) به دلیل شرایط توپوگرافی خاص، در اصل آب و هوای مغایر با سایر منطقه‌های آذربایجان و حتی نواحی جنوبی آن دارد. براساس آمار آب و هوایی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پارس‌آباد، این منطقه جزء اقلیم نیمه‌بیابانی خفیف بوده و دارای زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گرم می‌باشد. تیر و مرداد گرم‌ترین ماه‌های سال و دی و بهمن سردترین ماه‌های سال است. متوسط بارندگی در فصل پاییز ۷۸/۵، زمستان ۸۲، بهار ۱۰۶/۵ و تابستان ۳۲ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین میزان بارندگی بنابر آمار هواشناسی پارس‌آباد از فروردین تا آخر خرداد می‌باشد. طبق آمار ۲۵ ساله پارس‌آباد، متوسط بارندگی ۲۷۱/۲ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالانه ۱۴۸۶/۵ میلی‌متر گزارش شده است (Shiri, 2016).

اقلیم شیراز به دلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی، معتدل است. بیشترین درجه حرارت در گرم‌ترین روز تابستان ۴۰/۲ درجه سانتی‌گراد، حداقل درجه حرارت در سردترین روز زمستان ۴/۹۴ - درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت سالانه آن ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. تعداد روزهای یخبندان ۴۲ روز و متوسط بارندگی سالانه ۳۵۴ میلی‌متر می‌باشد. اسیدیته محل اجرای آزمایش ۷/۹، هدایت الکتریکی ۰/۶۵ دسی‌زیمنس بر متر، بافت خاک مزرعه از نوع لوم رسی سیلتی بود (Mirzavand et al., 2019).

حالیکه تجزیه رگرسیون مکانی می‌تواند اثرات متقابل کراس‌اور را از غیرکراس‌اور تمیز دهد. در واقع برای تعیین اثر متقابل کراس‌اور بایستی هم اثر ژنوتیپ (عملکرد) و هم اثر متقابل ژنوتیپ × محیط مورد توجه قرار گیرند. این مطلب دلالت دارد بر این‌که تحقیق پیرامون اثر متقابل ژنوتیپ × محیط وقتی اهمیت بیشتری دارد که در ارتباط با اثر ژنوتیپ مورد توجه قرار گیرد (Yan and Tinker, 2006). استفاده از این مدل برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط به منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های چند محیطی به کرات توسط محققان در ذرت گزارش شده است (Choukan, 2011; Fan et al., 2007; Shiri and Bahrapour, 2015; Shiri, 2013).

هدف از این تحقیق، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط از طریق روش‌های چند متغیره AMMI و روش گرافیکی GGE biplot در هیبریدهای امیدبخش ذرت و شناسایی و معرفی هیبریدهای دارای عملکرد اقتصادی و پایدار در اقلیم‌های مختلف جهت معرفی و کشت در منطقه‌های مختلف کشور و شناسایی منطقه‌های مطلوب (کلان) برای ارزیابی سازگاری و پایداری ارقام ذرت بود.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش، تعداد ۱۵ هیبرید جدید دپرس و میان‌رس به همراه هیبرید تجاری سینگل کراس ۷۰۴ (جمعاً ۱۶ هیبرید) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شش منطقه مختلف (کرج، مغان، شیراز، کرمانشاه، کرمان، اصفهان و میاندوآب) در سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفتند.

منطقه کرج براساس آمار هواشناسی و با توجه به منحنی‌های آمبروترمیک با داشتن ۱۵۰ تا ۱۶۰ و گاهی تا ۲۰۰ روز خشک، جزء منطقه‌های آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و

شده زیریک است (Sharifi et al., 2017). هر رقم در هر کرت شامل دو ردیف به فاصله ۷۵ سانتی متر کشت شد که هر ردیف کاشت شامل ۱۶ کپه به فاصله ۳۵ سانتی متر بود که با احتساب دو بوته در هر کپه، تراکم کشت ۷۶ هزار بوته در هکتار بود. در هر کپه جهت اطمینان از سبز کافی چهار بذر کشت شد که پس از تنک کردن در مرحله ۵-۴ برگی، دو بوته در هر کپه نگهداری شدند. میزان کودهای نیتروژن و فسفر براساس آزمون خاک در هر منطقه بود که کل کود فسفر و نیمی از کود نیتروژن در زمان کاشت و نیمی دیگر از اوره در زمان هفت برگه شدن ذرت به صورت سرک مصرف شد. در مرحله رسیدگی ده بلال تصادفی در هر کرت برداشت و درصد چوب بلال و درصد رطوبت دانه اندازه گیری شدند. سپس عملکرد دانه دو خط وسط هر کرت براساس درصد چوب بلال و رطوبت دانه ۱۴ درصد تصحیح و به تن در هکتار تبدیل و در تجربه های آماری استفاده شد.

قبل از انجام تجزیه واریانس، بررسی نرمال بودن داده ها با آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همگنی واریانس اشتباه آزمایشی با آزمون بارتلت انجام شد و پس از تأیید فرض های بالا، تجزیه مرکب برای عملکرد دانه انجام گرفت. همچنین به منظور شناسایی و معرفی هیبریدهای پرمحصول و پایدار و تعیین محیط ها و ژنوتیپ های ایده آل، از دو روش چند متغیره گرافیکی AMMI (Gauch, 1992) و GGE biplot (Yan et al., 2000) استفاده شد. افزون بر تجزیه گرافیکی از دو آماره، ارزش پایداری AMMI (ASV) (Purchase, 1997) و SIPC1 (Sneller et al., 1997) نیز استفاده شد. برای انجام تجزیه های آماری از نرم افزارهای مختلف نظیر SAS برای انجام تجزیه واریانس مدل AMMI، R برای تجزیه GGE biplot و EXCEL برای انجام محاسبات مربوطه به دو آماره ASV و SIPC1 استفاده گردید.

در کرمانشاه متوسط بارندگی سالانه ۴۱۶/۶ میلی متر بوده و براساس منحنی آمبروترمیک، اردیبهشت تا شهریور ماه های خشک سال هستند و دی ماه تا فروردین بیشترین بارش را دارند. آب و هوای منطقه براساس روش آمبروزه، حدواسط نیمه خشک سرد و نیمه مرطوب است (Choukan and Shirkhani, 2010).

منطقه اصفهان براساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم خشک است و بنا بر طبقه بندی اقلیمی کوپن دارای اقلیم گرم و خشک، با روش آمبروزه دارای اقلیم خشک سرد است. محل اجرای آزمایش با میانگین دمای هوا در سردترین ماه های سال در ماه دی، ۳/۸ درجه سانتی گراد و در گرم ترین ماه های سال در ماه تیر و مرداد ۳۱/۵ درجه سانتی گراد است. میانگین بیشترین دمای هوا ۲۴ درجه سانتی گراد و میانگین کمترین دمای آن ۷ درجه سانتی گراد است. اختلاف دمای گرم ترین و سردترین ماه سال ۲۷/۷ درجه سانتی گراد است. با توجه به اینکه رژیم بارندگی منطقه اجرای آزمایش مدیترانه ای است، بنابراین فصل بارندگی آن بر فصل سرد و اوایل بهار و فصل خشک آن بر فصل تابستان منطبق است. پرباران ترین ماه سال در اسفند ماه می باشد. مجموع بارش سالانه ۱۱۰ میلی متر است. اسیدیته محل اجرای آزمایش ۷/۸ و خاک آن لومی می باشد (Emami Bistgani et al., 2014).

منطقه ارزوئیه کرمان دارای زمستان های ملایم و تابستان های گرم می باشد. ماه تیر با بیشترین دمای ۴۵ درجه سانتی گراد گرم ترین ماه سال و دی سردترین ماه سال با کمترین دمای ۲- درجه سانتی گراد می باشند. اسیدیته محل اجرای آزمایش ۷/۸ و خاک آن لومی رسی بود (Najafinezhad and Javaheri, 2010).

منطقه میاندوآب دارای رژیم حرارتی مزیک با میانگین دمای سالیانه، ۱۲/۴۳ درجه سانتی گراد می باشد و همچنین با توجه میانگین بارندگی منطقه (۲۸۲/۸ میای متر) و برنامه نیوهال، رژیم رطوبتی منطقه یاد

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا میانگین بارندگی و دمای هوا و میانگین عملکرد دانه هیبریدهای مورد مطالعه در ایستگاه‌های تحقیقاتی

Table 1. Geographic location, average rainfall, air temperature and mean grain yield of studied hybrids in research stations

منطقه‌ها Location	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع (متر) Altitude(m)	میزان بارش (میلی‌متر) Annual rainfall (mm)	متوسط دمای سالانه (سلسیوس) Average temperature (°C)
Karaj	5100E	35.49N	1312.5	250	14.9
Moghan	47.32E	39.41N	47.5	271.2	15.1
Shiraz	52.43E	46.25N	1600	354	16
Kermanshah	47.26E	34.80N	1346	416.6	10.5
Kerman	56.36E	28.45N	1044	27	30
Esfahan	51.516E	34.31N	1545	110	18
Miyandoab	46.03E	36.58N	1300	282.8	12.4

نتایج و بحث

مؤلفه‌ی اصلی (IPC1) ۴۰/۷۹ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را به خود اختصاص داده و این مقدار برای دومین مؤلفه (IPC2) برابر با ۲۷/۷۴ درصد بود. مؤلفه‌های سوم، چهارم و پنجم به همراه مؤلفه باقی مانده (نویز) در مدل تنها ۳۱/۴۷ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه نمودند. در کل، مدل AMMI با مؤلفه‌ی اصلی اول و دوم، ۶۸/۵۳ درصد از تغییرات اثر متقابل را توجیه کردند (جدول ۲). در بیشتر بررسی‌های سازگاری که از روش AMMI برای توجیه و تفسیر اثرات متقابل ضرب پذیر استفاده شده است. دو مؤلفه اصلی اول و دوم به طور متوسط ۶۱-۸۸ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل را توجیه می‌نمایند (Yan and Hunt, 2002; Kaya *et al.*, 2006). مدل AMMI دارای آماره‌های مختلفی است که برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و این آماره‌ها همبستگی بالایی باهم دارند (Zali, *et al.*, 2012). به همین دلیل تنها از دو آماره، ارزش پایداری AMMI (ASV) و SIPC1 استفاده شد.

نتایج حاصل از تجزیه مرکب نشان داد که میان هیبریدها، منطقه‌ها و اثر متقابل محیط × هیبرید اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲). تجزیه واریانس یک مدل افزایشی است که به خوبی اثرهای اصلی ژنوتیپ و محیط را تفکیک و مقدار آن را تعیین می‌کند و نیز مشخص می‌کند که اثر متقابل معنی‌دار است یا نه، اما تصویری روشن از اجزای تشکیل دهنده اثر متقابل ارائه نمی‌دهد، در حالیکه روش‌های AMMI اجزاء ضرب پذیر و افزایشی اثر متقابل را تفکیک و سهم هر یک از اجزاء تشکیل دهنده را به طور کمی بیان می‌کنند. در این بررسی توسط مدل AMMI محیط به پنج عامل یا پنج مؤلفه IPCA1 (AMMI1) IPCA2 (AMMI2)، IPCA3 (AMMI3)، IPCA4 (AMMI 4) و IPCA5 (AMMI 5) تجزیه شد که فقط دو مؤلفه اول در سطح یک درصد معنی‌دار و بقیه مؤلفه‌ها غیرمعنی‌دار بودند. بنابراین پارامترهای AMMI1 (مؤلفه اول) و AMMI2 (مؤلفه دوم) بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. اولین

جدول ۲- میانگین مربعات عملکرد دانه و سهم منابع تغییر از واریانس کل

Table 2. Mean of squares for grain yield and relative variance of source of variation

S.O. V	df	SS	MS	% Of variance explained	% Of cumulative variance explained
Environment (En)	6	722.44	722.44**	49.70	49.70
Hybrid (Hy)	15	333.92	333.92**	22.97	72.67
En × Hy	90	397.33	397.33**	27.33	100.00
PC1	20	162.08	162.08**	40.79	40.79
PC2	18	110.21	110.21**	27.74	68.53
PC3	16	50.76	50.76 ns	12.78	81.31
PC4	14	33.67	33.67 ns	8.47	89.78
PC5	12	28.55	28.55 ns	7.19	96.97
Residuals	10	12.05	12.05 ns	3.03	100.00
Error	210	430.50	2.05	-	-

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

*, **and ns: significant at 5%, 1% probability level and non-significant, respectively

ژنوتیپ (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر ژنوتیپ (محور عمودی) و دومین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر محیط (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر محیط (محور عمودی) است. باید توجه داشت که ژنوتیپها و محیطهایی که دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی بزرگ (مثبت یا منفی) باشند، اثر متقابل بالا دارند، در حالیکه ژنوتیپها و محیطهای دارای مقادیر اولین مؤلفه اصلی نزدیک به صفر دارای اثر متقابل پایین می‌باشند. از طرفی ژنوتیپها و محیطهای دارای اولین مؤلفه اصلی با علامت یکسان، اثرهای متقابل مثبت ایجاد می‌کنند، در حالیکه ترکیب مقادیر اولین مؤلفه اصلی با علامت‌های مخالف، واکنش اثر متقابل منفی را ایجاد می‌نمایند. بررسی بای‌پلات شکل ۱ نشان داد که هیبریدهای شماری ۷، ۱۳ و ۱۱ و منطقه‌های شیراز، کرج و کرمان دارای اثر متقابل بزرگ بودند. به عبارت دیگر این منطقه‌ها بیشترین تأثیر را در اثر متقابل داشتند. پراکندگی محیطها در این بای‌پلات نیز نشان می‌دهد که محیطها به لحاظ پایداری یا ثبات عملکردی، تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند که مؤید نتایج تجزیه واریانس مرکب می‌باشد. باید توجه داشت که محیطهایی ایده‌آل می‌باشند که دارای اثر متقابل بزرگ باشند چون در این محیطها تفاوت ارقام بهتر مشخص می‌شود. ولی در مورد ارقام هرچه اثر متقابل کمتر باشد یعنی ژنوتیپ مورد نظر کمتر تحت تأثیر محیط بوده و پایداری عملکرد بیشتری دارد. هیبریدهایی که در مرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند، اثر متقابل نزدیک به صفر دارند، بنابراین دارای پایداری عمومی هستند، هیبریدهای شماره ۶، ۱۵، ۱۲، ۶، ۱۰، ۱۱ و ۱۴ دارای مقادیر IPCA1 نزدیک به صفر بوده و بنابراین اثر متقابل کوچک بودند و از پایداری عملکرد و سازگاری عمومی خوبی برخوردار هستند. هیبریدهای ۳، ۱، ۱۶ و ۵ نیز دارای پایداری متوسط بودند. بنابراین براساس عملکرد دانه و پایداری هیبریدهای ذرت دانه‌ای، هیبریدهای شماره ۱ و ۱۶ به دلیل داشتن میانگین عملکرد

متوسط عملکرد هیبریدها در شش محیط آزمایشی، مقادیر مؤلفه‌ها و آماره‌های ASV و SIPC1 در جدول ۳ بیان شده است. براساس نتایج حاصله، بیشتر عملکرد دانه به میزان ۱۲/۷۶ تن در هکتار متعلق به هیبرید شماره ۱۶ و کمترین عملکرد به میزان ۸/۸۷ تن در هکتار مربوط به هیبرید شماره ۶ بود و دامنه تغییرات عملکرد هیبریدها، ۳۸۹۰ کیلوگرم در هکتار بود. بر مبنای آماره ASV به ترتیب هیبریدهای شماره ۱۴، ۱، ۱۲ و ۱۵ جزء پایدارترین هیبریدها و هیبریدهای ۳، ۱۱، ۶، ۵ و ۱۶ پایداری متوسط از نظر پایداری عملکرد دانه را داشتند. نتایج آماره SIPC1 (قدر مطلق اندازه اولین مؤلفه اصلی) نشان داد هیبریدهای ۶، ۱۱، ۱۲، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱ و ۱۶ از پایداری بهتری نسبت به دیگر هیبریدها برخوردار بودند. در این میان هیبرید شماره ۱ و ۱۶ به دلیل بالا بودن عملکرد دانه نسبت به متوسط کل به عنوان هیبریدی با عملکرد دانه بالا و پایدار انتخاب شدند (جدول ۳). در منطقه شیراز و کرج متوسط کل عملکرد دانه هیبریدها، برابر با ۱۲/۰۸ تن در هکتار و در منطقه کرمان برابر با ۸/۵۵ تن در هکتار بود که به ترتیب بیشترین و کمترین محصول دانه را داشتند. دامنه تغییرات عملکرد محیطهای آزمایشی ۳۵۳۰ کیلوگرم در هکتار است. (جدول ۳). تجزیه واریانس بیانگر نیز سهم ۴۹/۷۰ درصدی عامل محیط از واریانس کل بود، بنابراین می‌توان گفت تفاوت بین محیطهای آزمایشی از نظر شایستگی و توان تولیدی به نسبی بیشتر از تفاوت بین ژنوتیپها است (جدول ۲). آماره‌های اقلیمی نیز بیانگر تفاوت اقلیمی قابل ملاحظه منطقه‌های آزمایشی است (جدول ۱).

در بای‌پلات شکل ۱، محور افقی نمایانگر اثرات اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب تن در هکتار و محور عمودی اثرهای متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه‌ی اصلی (IPCA1) یعنی ضرایب عاملی، است. در بای‌پلات بیان شده دو سری از داده‌ها روی محورهای نمایش داده شده‌اند. اولین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر

چندضلعی قرار گرفتند. این هیبریدها از نظر عملکرد دانه بهترین و یا ضعیف‌ترین هیبریدها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها هستند، چراکه بیشترین فاصله را از مرکز GGE biplot دارند. هیبرید شماره ۱۶ در همه محیط‌ها بیشترین عملکرد دانه داشت و هیبرید برتر برای این محیط‌ها شناخته شدند. هیبرید شماره ۸، ۶، ۲ و ۹ اگرچه هیبریدی واقع در رأس چندضلعی بود، ولی در هیچ از یک محیط‌ها عملکرد دانه خوبی نداشت.

برای بررسی پایداری و عملکرد هیبریدها، از نمودار محور پایداری یا مختصات تستر متوسط^۲ استفاده می‌شود که در این بررسی نیز براساس داده‌های میانگین، شش محیط این نمودار رسم شد (شکل ۲ ب). در این شکل، محوری که با دایره و فلش مشخص شده، محور نشان‌دهنده پایداری است و هر هیبریدی که به این محور نزدیک باشد پایدارتر است (Yan *et al.*, 2000). درعین حال محور بعدی نشان‌دهنده متوسط عملکرد دانه هیبریدها است و هیبریدهای موجود در سمت چپ این خط، دارای عملکرد دانه پایین‌تر از متوسط کل می‌باشند. بر این اساس هیبرید شماره ۱۱، ۱۴، ۳، ۱ و ۱۶ با عملکرد دانه بالاتر از متوسط و پایداری بالا بوده و هیبرید شماره ۴ و ۵ دارای عملکرد دانه بالاتر از میانگین و پایداری متوسط و هیبریدهای شماره ۹ و ۲ دارای عملکرد دانه بالاتر از متوسط و پایداری پایین و هیبرید شماره ۱۲ پایداری بسیار بالا اما عملکرد دانه پایین‌تر از متوسط داشت. هیبرید شماره ۶ پایداری بالا؛ هیبریدهای شماره ۱۵، ۷، ۱۰ و ۱۳ پایداری متوسط؛ هیبرید شماره ۸ پایداری بسیار پایین با عملکرد دانه پایین‌تر از متوسط داشتند. به‌طورکلی با توجه به این که در انتخاب هیبرید برای محیط‌های مختلف، باید هر دو مقوله عملکرد و پایداری را در نظر گرفت، بنابراین به نظر می‌رسد هیبرید شماره ۱۶ با پایداری خوب و عملکرد دانه بالا بهترین هیبرید بود.

بالاتر از میانگین کل می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی با پایداری خوب مورد توجه قرار گیرند (شکل ۱). درحالی‌که هیبریدهای ۸ و ۹ دارای بیشترین مقادیر مثبت و منفی IPCA1 بوده و بنابراین هیبریدهای ناپایدار محسوب می‌شوند. باید توجه داشت که نتایج این بای‌پلات با آماره SIPC1 انطباق داشت. (Ebdon and Gauch (2002) اظهار نمودند که ژنوتیپ‌هایی که دارای مقدار IPCA1 نزدیک به صفر می‌باشند، دارای سازگاری عمومی در تمام منطقه-ها بوده و ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بالای (IPCA1) مثبت یا منفی) هستند ناپایدار بوده و به‌طور معمول با محیط‌های دارای IPCA1 بالا و هم علامت خود سازگاری خصوصی دارند.

در این بررسی برای روش گزینش همزمان برای عملکرد دانه و پایداری هیبریدهای ذرت دانه‌ای افزون بر روش AMMI از روش GGE biplot نیز استفاده شد. برای رسم GGE biplot از مقادیر حاصل از مدل‌های چند متغیره مربوط به هیبریدها و محیط‌ها در یک‌شکل و به‌طور همزمان استفاده گردید و نتایج حاصل از روش GGE biplot نشان داد دو مؤلفه اصلی اول و دوم به ترتیب ۵۳/۷ و ۱۷/۸ درصد و در مجموع ۷۱/۵ درصد از تغییرات کل موجود در داده‌ها را توجیه می‌نمایند (شکل ۲)؛ بنابراین دو مؤلفه اول توانست بیشتر تغییرات مشاهده‌شده در عملکرد دانه را توجیه نماید.

در بای پلات (شکل ۲ الف) یک چندضلعی از وصل کردن دورترین ژنوتیپ‌ها از مبدأ بای پلات به یکدیگر ایجاد می‌شود که با استفاده از این بای پلات و چندضلعی درون آن می‌توان بهترین محیط و رقم را شناسایی کرد. در این بای پلات، چهار بخش قابل مشاهده است و در هر بخش نیز بهترین ژنوتیپ، ژنوتیپی است که در رأس چندوجهی قرار دارد. این هیبریدها از نظر عملکرد، بهترین و یا ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها در بعضی از محیط‌ها و یا همه محیط‌ها بودند.

براساس این شکل، هیبریدهای ۱۶، ۸، ۶، ۲ و ۹ در رأس

آزمایش‌ها فقط در یک محیط اجرا نموده و به بقیه تعمیم داد (Yan and Kang, 2003). در نمودار GGE biplot، کسینوس زاویه بین بردارهای محیط بیانگر شدت همبستگی بین محیط‌ها می‌باشد.

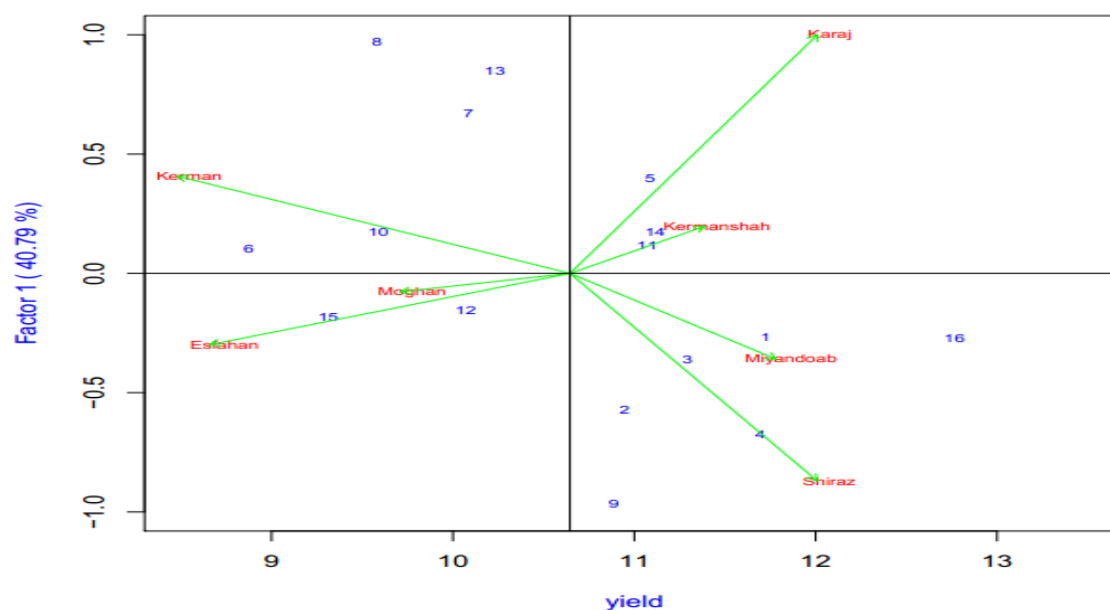
بر این اساس کرمانشاه، اصفهان و شیراز، زاویه بسیار کم و همبستگی نزدیک به ۱+ داشتند (شکل ۲ د)؛ بنابراین این سه محیط با یکدیگر همبستگی قوی دارند. این بدان معنی است که در این سه محیط عکس‌العمل هیبریدهای مورد مطالعه یکسان است، پس می‌توان برای صرفه‌جویی در هزینه، اجرای آزمایش‌های سال‌های آتی را در یک یا دو مکان از سه منطقه بیان شده انجام داد. با توجه به قدرت تفکیک بالای هیبریدها در منطقه شیراز، توصیه می‌شوند از بین این سه منطقه، آزمایش‌های سال‌های آتی در شیراز انجام پذیرد. از طرف دیگر همبستگی بین منطقه‌های مغان و میان‌دوآب بسیار بالا بود و با استدلال مشابه بهتر است برای صرفه‌جویی در هزینه، آزمایش‌ها در سال‌های آتی در میان‌دوآب اجرا گردد. همچنین منطقه‌های کرمان و کرج از نظر تفکیک هیبریدها مشابهت کمتری با سایر منطقه‌ها داشتند. بنابراین توصیه می‌شود در سال‌های آتی آزمایش‌ها به‌جای هفت منطقه در چهار منطقه شیراز، میان‌دوآب، کرمان و کرج اجرا گردد. (Volta et al., 2005) و (Samonte et al., 2005) تأکید کردند که مدل رگرسیون مکانی در آزمایش‌های ناحیه‌ای عملکرد، بیشترین کارایی را در توجیه تغییرات داشته و استفاده از آن نتایج بهتر و مؤثری در برداشت. براین اساس محققان زیادی از روش گرافیکی GGE biplot در تفسیر اثرمتقابل ژنوتیپ × محیط در گیاهان زراعی مختلف استفاده کردند و نتایج قابل قبولی را اخذ نمودند (Jandong et al., 2011; Choukan, 2011; Koocheki et al., 2012; Mohammadi et al., 2012; Shiri and Bahrapour, 2015; Shiri, 2013 and 2016; Mortazavian et al., 2014; Saeid Rahnejat and Farshadfar, 2015).

ژنوتیپ ایده آل برطبق پایدارترین ژنوتیپ و پرمحصول-ترین ژنوتیپ تعریف می‌شود (Yan and Kang, 2003). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا و دارای کمترین نقش در پدیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باشد، تعریف شده است، برای استفاده از ژنوتیپ ایده‌آل به‌عنوان مرکز ارزیابی، دایره‌های هم‌مرکزی در GGE biplot به‌منظور تعیین گرافیکی فاصله بین ژنوتیپ‌های مطالعه شده با ژنوتیپ ایده‌آل ایجاد شده است (شکل ۲ ج). ژنوتیپ ایده آل ژنوتیپی فرضی است که درون مرکزی‌ترین دایره قرار دارد و ژنوتیپی در مرکز دایره‌ها و یا نزدیک‌ترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی داشته به‌عنوان یک ژنوتیپ برتر با عملکرد بالا و پایداری بالا محسوب می‌شود. در شکل ۲ ج، هیبرید شماره ۱۶ در مرکز دایره‌ها قرار داشت پس برترین هیبرید است و هیبریدهای ۱ و ۴ در رتبه بعدی قرار گرفتند. درعین حال هیبرید شماره ۶ بیشترین فاصله را از این ژنوتیپ فرضی داشته و جزء هیبریدهای نامطلوب محسوب می‌شود. در صورتی‌که هیبریدهای شماره ۱ و ۵ با روش AMMI به‌عنوان پایدارترین هیبریدها انتخاب شدند، در این میان، هیبرید شماره ۵ دارای عملکردی پایین‌تر از میانگین کل هیبریدها بود. ولی هر دو هیبرید انتخابی با روش GGE biplot (هیبریدهای شماره ۷ و ۱)، عملکرد دانه بالایی داشتند. بنابراین روش GGE biplot ابزار مناسبی برای گروه‌بندی محیط‌های مختلف در این مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار و سازگار به شرایط محیطی مختلف بود.

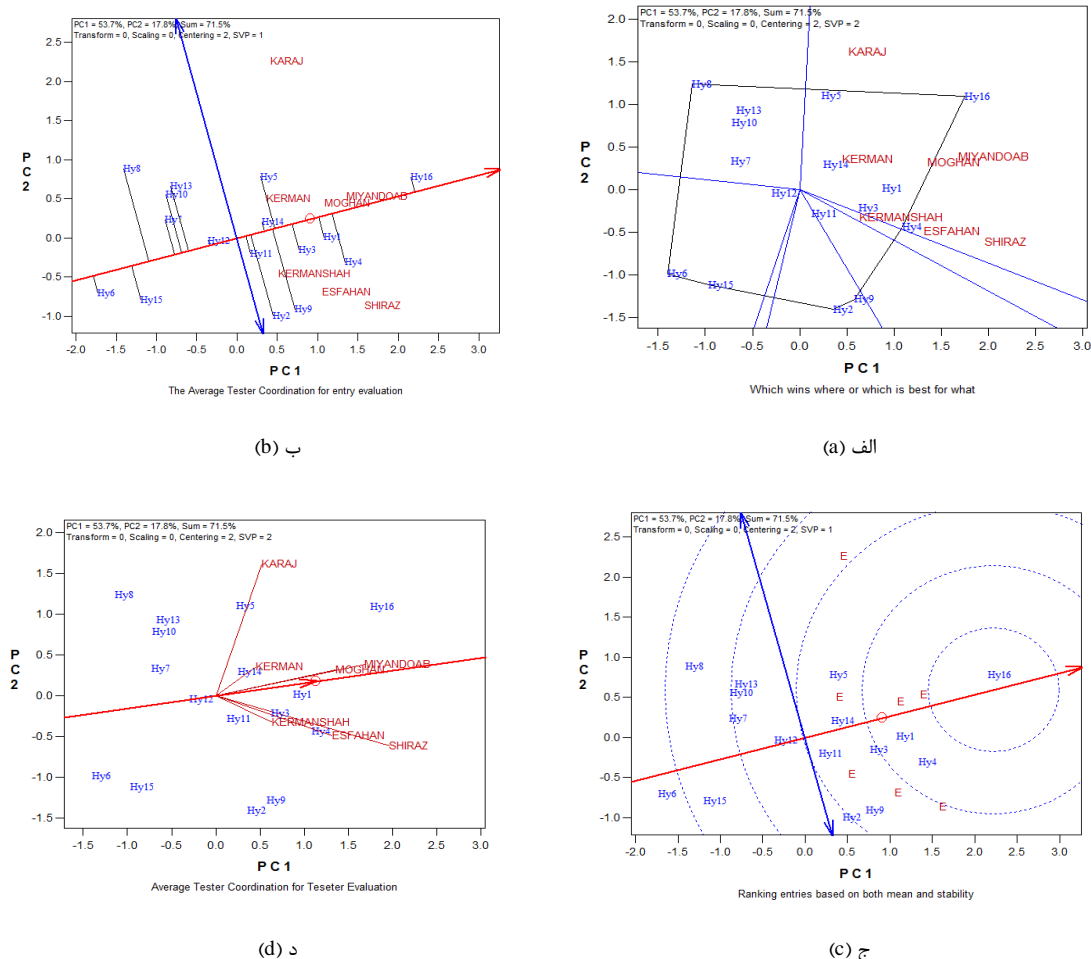
نتایج حاصل از تجزیه گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در این پژوهش نشان داد که محیط‌های مورد مطالعه بخش بزرگی از تغییرات موجود در ماتریس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را توجیه می‌کنند. بررسی همبستگی بین محیط‌های مورد آزمایش می‌تواند روابط بین محیط‌ها را آشکار کرده و برای آزمایش‌های آینده راه‌گشا باشد. اگر دو یا چند محیط با یکدیگر همبستگی داشته باشند، می‌توان

جدول ۳- میانگین عملکرد هیبریدها و منطقه‌های مورد بررسی، مقادیر دو مؤلفه اصلی اثرمتقابل و آماره‌های پایداری ASV و SIPC1 و رتبه آن‌ها
 Table 3. Yield means of hybrids and locations, values of the first two main components of interaction and stability statistics of ASV and SIPC and their ranks

No. hybrids	Hybrids/ Location	Yield (t/ha)	IPCA1	IPCA2	ASV	Rank	SIPC1	Rank
1	KLM77002/3-1-1-1-1-1-3 × K18	11.73	-0.27	-0.07	0.40	2	0.27	7
2	KLM78012/6-1-1-1-1-2 × K18	10.95	-0.57	0.78	1.15	13	0.57	11
3	KLM81027 × K18	11.29	-0.36	-0.09	0.54	5	0.36	9
4	KLM77029/8-1-1-1-2-2-2 × K18	11.69	-0.68	-0.10	1.00	10	0.68	13
5	KLM76021/1-3-1-1-1-2-1-1 × K18	11.09	0.40	-0.33	0.67	8	0.40	10
6	KLM77002/3-1-1-1-1-1-3 × K47/3	8.87	0.10	0.55	0.57	7	0.10	1
7	KLM78012/6-1-1-1-1-2 × K47/3	10.09	0.67	0.53	1.12	12	0.67	12
8	KLM81027 × K47/3	9.58	0.97	-0.24	1.45	16	0.97	16
9	KLM77029/8-1-1-1-2-2-2 × K47/3	10.89	-0.97	-0.01	1.42	15	0.97	15
10	KLM76021/1-3-1-1-1-2-1-1 × K47/3	9.59	0.17	-1.00	1.03	11	0.17	5
11	KLM77002/3-1-1-1-1-1-3 × B73	11.07	0.12	0.52	0.55	6	0.12	2
12	KLM78012/6-1-1-1-1-2 × B73	10.07	-0.15	-0.38	0.44	4	0.15	3
13	KLM81027 × B73	10.23	0.85	0.17	1.26	14	0.85	14
14	KLM77029/8-1-1-1-2-2-2 × B73	11.11	0.17	0.14	0.29	1	0.17	4
15	KLM76021/1-3-1-1-1-2-1-1 × B73	9.31	-0.18	0.35	0.44	3	0.18	6
16	SC704	12.76	-0.27	-0.82	0.91	9	0.27	8
-	Karaj	12.08	1.00	-0.41	-	-	1.00	7
-	Moghan	9.78	-0.08	-0.24	-	-	0.08	1
-	Shiraz	12.08	-0.87	-0.09	-	-	0.87	6
-	Kermanshah	11.46	0.20	0.88	-	-	0.20	2
-	Kerman	8.55	0.41	0.07	-	-	0.41	5
-	Esfahan	8.73	-0.30	0.51	-	-	0.30	3
-	Miyandoab	11.85	-0.36	-0.73	-	-	0.36	4



شکل ۱- نمودار بای پلات میانگین هیبریدها، منطقه‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی اثرمتقابل (مدل AMMI1)
 Fig. 1- Biplot of hybrids, location means, and first two main components of interaction (AMMI1 model)



شکل ۲- روش GGE biplot (الف) نمایش چندضلعی انطباق هشت هیبرید ذرت دانه‌ای با محیط‌ها، (ب) ارزیابی هشت هیبرید ذرت دانه‌ای در محیط‌ها به‌طور همزمان براساس عملکرد دانه و پایداری عملکرد دانه (ج) مقایسه هیبریدهای مورد مطالعه با ژنوتیپ ایده آل براساس پایداری و عملکرد دانه (د) مقایسه محیط‌های مورد مطالعه با محیط ایده‌آل براساس پایداری و عملکرد دانه همبستگی بین محیط‌ها

Fig. 2- GGE biplot method. a) Polygonal display of the best genotype and medium for grain yield, b) average of grain yield and genotypes stability, c) determining the ideal genotype, and d) determining the ideal environment. The numbers with blue and green colors indicate environments and genotypes, respectively

نشان داد که هیبریدهای شماره ۱۶ (SC704) و ۱ (KLM77002/3-1-1-1-1-1-3 × K18) به‌ترتیب با عملکرد دانه ۱۲/۷۶ و ۱۱/۷۲ تن در هکتار به‌عنوان پایدارترین هیبریدها با سازگاری عمومی بالایی بودند و می‌توانند مورد کشت در کشور قرار گیرند. هیبرید شماره ۱ از هیبریدهای امیدبخش و در دست معرفی بخش تحقیقات ذرت می‌باشد. افزون بر عملکرد بالا و پایداری خوب به بیماری سیاهک برعکس سایر هیبریدهای تجاری به‌نسبت مقاوم می‌باشد. براساس ارزیابی تشابه محیطی در

نتیجه‌گیری

به‌منظور بهره‌برداری مطلوب از اثر متقابل ژنوتیپ × محیط باید هر دو مقوله عملکرد و پایداری به‌طور همزمان در اصلاح و انتخاب ژنوتیپ‌ها در نظر گرفته شود. بر این اساس، استفاده از روش‌های چند متغیره برای مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ × محیط، یک راهبرد قوی و سودمند است، زیرا ماهیت چند بعدی و پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ × محیط را به‌خوبی تحلیل می‌نماید. در مجموع، نتایج حاصل از عملکرد دانه و تحلیل پایداری با روش گرافیکی

میاندوآب، کرمان و کرج انجام پذیرد.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Biplot
² AMMI
³ *Zea mays* L.
⁴ Additive Main Effects and Multiplicative Interaction
⁵ Crossover
⁶ Non crossover
⁷ Average Tester Coordinate

Albert, M.J.A., 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype×environment interaction and yield stability in multi-location maize trials. MS.c. Thesis. University of the Free State, Bloemfontein.

Basafa, M. and Taheriyani, M., 2016. Analysis of stability and adoptability of forage yield among silage corn hybrids. *Journal of Crop Breeding*. 8(19), 185-191.

Božović, D., Zivanović, T., Popović, V., Tatić, M., Gospavić, Z., Miloradović, Z., Stanković, G. and Dokić, M., 2018. Assessment stability of maize lines yield by GGE-biplot analysis. *Genetika*. 50, 755-770.

Branković-Radojčić, D., Vojka Babić, Z.G., Tivanović, A.R., Filipović, M. and Srdić, J., 2018. Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika*. 50(3), 1067-1080.

Chamekh, Z., Karmous, C., Ayadi, S., Sahli, A., Hammami, Z., Fraj, M.B., Benaissa, N., Trifa, Y., Slim-Amara, H., 2015. Stability analysis of yield component traits in 25 durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under contrasting irrigation water salinity. *Agric. Water Manag.* 152, 1-6.

Choukan, R. and Shirkhani, A., 2010. Estimation of heat units requirements for different maturity groups of grain maize hybrids in Kermanshah.

میان منطقه‌های مورد مطالعه، منطقه‌های کرمانشاه، اصفهان و شیراز و همچنین منطقه‌های مغان و میاندوآب با یکدیگر تشابه زیاد داشتند و از طرف دیگر تشابه منطقه‌های کرمان و کرج با سایر منطقه‌ها از نظر تفکیک هیبریدها کمتر بود. بنابراین توصیه می‌شود در سال‌های آتی جهت صرفه‌جویی در هزینه اجرای آزمایش‌ها، ارزیابی هیبریدها به‌جای هفت منطقه در چهار منطقه‌ی شیراز،

منابع

Seed and Plant Production Journal. 26 (3), 259-284.

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.

Ebdon, J.S. and Gauch, H.G., 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials: Interpretation of genotype×environment interaction. *Crop Science*. 42, 489-496.

Ebrahimi, M.K. and Delkhoush, B., 2011. Chemical evaluation of oils extracted from Eight New varieties of soybean. *Journal of Food Technology and Nutrition*. 8(1), 72-84. (In Persian with English abstract).

Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., and Shirmaoeli, G., 2014. Effect of plant density on yield, agronomic traits in new variety sunflower. *Applied Field Crops Research*. 27(3), 69-75. (In Persian with English abstract).

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.

Flores, F., Moreno, M.T. and Cubero, J.I., 1998. A Comparison of univariate and multivariate

- methods to analyze G×E interaction. *Field Crop Research*. 56, 271-286.
- Gauch, H.G. and Zobel, R.W., 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*. 37, 311-326.
- Gauch, H.G., 1992. Statistical analysis of regional trials. AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 287 pp.
- 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.
- Kaya, Y., Akcura, M. and 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.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 with English abstract).
- Mirzavand, J., Sameni, A.M., Moosavi, S.A.A., Afzalnia, S. and Karimian, N.A., 2019. Evaluation of water infiltration models efficiency affected by tillage systems and residue management in wheat-corn rotation. *Iranian Journal of Soil Research*. 32(4), 457-470. (In Persian with English abstract).
- Mohammadi, R. and Amri, A., 2008. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. *Euphytica*. 159(3), 419-432.
- Mohammadi, R., Armion, M., Zadhasan, E., Ahmadi, M.M. and Sadeghzadeh Ahari, D., 2012. Genotype×environment 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 with English abstract).
- Mortazavian, S.M.M., Nikkiah, 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 Agricultural Science and Technology*. 16, 609-622.
- Mühleisen, J., Piepho, H.P., Maurer, H.P., Longin, C.F.H., Reif, J.C., 2014. Yield stability of hybrids versus lines in wheat, barley, and triticale. *Theor. Appl. Genet.* 127, 309–316.
- Müller, C., Elliott, J., Pugh, T.A.M., Ruane, A.C., Ciais, P., Balkovic, J., Deryng, D., Folberth, C., Cesar Izaurralde, R., Jones, C.D., Khabarov, N., Lawrence, P., Liu, W., Reddy, A.D., Schmid, E., Wang, X., 2018. Global patterns of crop yield stability under additional nutrient and water inputs. *PLoS One*, 13(6),1-14.
- Najafi Mirak, T., 2011. Study of grain yield stability of bread wheat genotypes in cold agro-climatic zone of Iran. *Iranian Journal of Crop Science*. 13(2), 380-394. (In Persian with English abstract).
- Najafi, E., Devineni, N., Khanbilvardi, R.M., Kogan, F., 2018. Understanding the changes in global crop yields through changes in climate and technology. *Earth's Future*. 6(3), 410–427.
- Najafinezhad, H., and Javaheri M.A., 2017. Evaluation of yield and yield components of grain corn under the influence of planting date and hybrid in winter cultivation. *Journal of plant Ecophysiology*. 29, 125-135. (In Persian with English abstract).
- Olesen, J.E., Trnka, M., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F., 2011. Impacts and

- adaptation of European crop production systems to climate change. *Eur. J. Agron.* 34, 96–112.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Trnka, M., Olesen, J.E., Calanca, P., Eckersten, H., Eitzinger, J., Gobin, A., Kersebaum, K.C., Kozyra, J., Kumar, S., Marta, A.D., Micale, F., Schaap, B., Seguin, B., Skjelvag, A.O., Orlandini, S., 2010. Coincidence of variation in yield and climate in Europe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 483–489.
- Pourdad, S.S. and Jamshid Moghaddam M., 2013. Study on genotype × environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica Napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding.* 5(12), 1-14. (In Persian with English abstract).
- Purchase, J., 1997. Parametric analysis to describe genotype environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph.D. University of the Free State, South Africa. 84 pp.
- Ray, D.K., Gerber, J.S., MacDonald, G.K., West, P.C., 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nat Commun.* 6(1), 1-9.
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O., Leemans, R., 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *Eur. J. Agron.* 32, 91-102.
- 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., Mc Clung, 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.
- Sharifi, P., Servati, M. and Mohammadkhani, N., 2017. Climate change impact on land suitability evaluation for some rainfed crops in miandoab region. *Iranian Journal of Soil Research.* 32(2), 243-254. (In Persian with English abstract).
- Shiri, M. and Bahrapour, T., 2015. Genotype×environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research.* 5, 83-94. (In Persian with English abstract).
- Shiri, M., 2013. Grain yield stability analysis of maize (*Zea mays* L.) hybrids in different drought stress conditions using GGE biplot analysis. *Crop Breeding Journal.* 3(2), 107-112.
- Shiri, M., 2016. Evaluation of fresh and dry forage yield stability of forage sorghum varieties (*Sorghum bicolor* L. moench) in different conditions. *Journal of Crop Breeding.* 8, 93-101.
- Smith, R.G., Menalled, F.D., Robertson, G.P., 2007. Temporal yield variability under conventional and alternative management systems. *Agronomy Journal.* 99, 1629–1634.
- Sneller, C.H., Kilgore-Norquest, L. and Dombek, D., 1997. Repeatability of yield stability in soybean. *Crop Science.* 37, 383-390.
- Tigchelaar, M., Battisti, D.S., Naylor, R.L., Ray, D.K., 2018. Future warming increases probability of globally synchronized maize production shocks. *Proc Natl Acad Sci.* 115(26), 6644-6649.
- Voltas, J., Lopez-Corles, H. and 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. 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. 288 pp.

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., 2001. GGEbiplot-A widow's application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal. 93, 1111-1118.

Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q. and Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega environment

investigations based on the GGE biplot. Crop Science. 40 ,597-605.

Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H. and Karimizadeh, R., 2012. Evaluation of genotype \times environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. Annals of Biological Research. 3 (7), 3126-3136.

Zobel, R.W., Wright, M.J. and Gauch, H.G., 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal. 80, 388-393.





Environmental Sciences Vol.19 / No.4 / Winter 2022

15-32

Original Article

The adaptability of promising maize hybrids to environmental changes in different regions of Iran

Hossein Momeni¹, Mohammad Reza Shiri,^{2*} Eslam Majidi Hervan¹ and Mahmoud Khosroshahli¹

¹ Department of Biotechnology and Plant Breeding, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

Received: 2020.03.20 Accepted: 2021.07.16

Momeni, H., Shiri, M.R., Majidi Hervan, E. and Khosroshahli, M., 2022. The adaptability of promising maize hybrids to environmental changes in different regions of Iran. *Environmental Sciences*. 19(4): 15-32.

Introduction: The sustainability of agricultural systems plays a key role in adapting to climate change. There is ample evidence that biodiversity can increase the stability of ecosystem processes by changing environmental conditions. Therefore, the effectiveness of breeding programs requires a correct understanding of the reaction of breeding cultivars to environments with different climatic and soil conditions. Therefore, this study was conducted to assess the response of some new maize hybrids to divergent environmental conditions and determine their grain yield stability.

Material and methods: This study was conducted with 16 maize hybrids using a randomized complete block design with three replicates in six locations, during the 2017 cropping season. Considering significant differences in hybrid \times environment (G \times E) interaction, stability analyses were performed using AMMI and GGE-biplot methods to determine stable and high-yielding hybrids.

Results and discussion: The results of the AMMI model showed that only the first two principal components of AMMI (AMMI1 and AMMI2) were significant and described 68.53% of the variance of G \times E interaction. Based on the results of statistics of the AMMI model (ASV and SPCA1), hybrids No. 16 (SC704) and 1 (KLM77002/3-1-1-1-1-1-3 \times K18) were recognized as the most stable hybrids. Stability analysis by GGE biplot procedure explained 71.5% of grain yield variation due to two components of GGE. In addition, hybrids No. 16 and 1 were identified as superior and stable hybrids by the GGE biplot graphical method.

* Corresponding Author: *Email Address*. mohammadrezashiri52@gmail.com

Conclusion: Generally, results of grain yield and stability analyses showed that hybrids No. 16 and 1 with 12.76 and 11.72 t/ha yields, respectively, were better than other hybrids across environments for yield and stability with wide adaptation and thus can be cultivated in Iran. Also, biplot analysis of correlation among environments revealed that Kermanshah, Esfahan, and Shiraz, as well as Moghan and Miyandoab were closer and similar in ranking, grouping, and assessing stability. Also, Kerman and Karaj regions were less similar to other regions in terms of hybrids discrimination. Considering the high discriminate power of hybrids in Shiraz, Miyandoab, Kerman, and Karaj environments, and in order to decrease the costs, it is recommended to conduct future trials in the aforementioned environments.

Keywords: AMMI, GGEbiplot, Maiz hybrids, Adaptability.

